

AALTO-YLIOPISTO

Insinööritieteiden korkeakoulu

Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma

Rakennetekniikka

Kati Forsblom

RAKENNETAVUUDEN ARVIOINTI ARKKITEHTI- JA TALOTEK- NIIKKASUUNNITTELUSSA

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten
Espoossa 16. lokakuuta 2013

Valvoja: Professori Jari Puttonen Aalto-yliopisto

Ohjaaja: DI Matti Tauriainen Aalto-yliopisto/Finnmap Consulting Oy

Tekijä Kati Forsblom

Työn nimi Rakennettavuuden arviointi arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelussa

Laitos Rakennustekniikan laitos

Professuuri Talonrakennustekniikka

Professuurikoodi Rak-43

Työn valvoja Professori Jari Puttonen

Työn ohjaaja(t)/Työn tarkastaja(t) DI Matti Tauriainen, Aalto-yliopisto ja Finnmap Consulting Oy

Päivämäärä 16.10.2013

Sivumäärä 75 + 15 s.

Kieli suomi

Tiivistelmä

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää, miten arkkitehdit ja talotekniikkasuunnittelijat ymmärtävät käsitteen rakennettavuus ja miten rakennettavuutta arvioidaan tällä hetkellä näillä suunnittelualoilla. Lisäksi työn tavoitteena oli soveltaa aiemmin kehitettyä rakennettavuuden kvantitatiivista mittausmetodiikkaa. Tutkimuksessa selvitettiin myös arkkitehti- ja talotekniikkamallien käyttöä rakennettavuuden arviointiin.

Tutkimus toteutettiin kirjallisuustutkimukseen pohjautuvien haastattelu- ja tapaustutkimusten avulla. Haastatteluosuuteen haastateltiin neljää kokenutta arkkitehtia ja analysoitiin viiden aiemmin toteutetun talotekniikkasuunnittelijan ja -asiantuntijan haastattelut. Tapaustutkimus muodostui haastatteluosiosta ja esimerkkikohteen rakennettavuusanalyseistä. Esimerkkikohteenä tutkimuksessa käytettiin todellista asuinkerrostalohanketta, jonka rakennustyöt olivat käynnissä tutkimuksen aikana. Esimerkkikohteesta haastateltiin kahdeksaa vastuuhenkilöä. Tarkoituksena oli selvittää, miten esimerkkikohteen rakennettavuutta on arvioitu projektiosapuolien keskuudessa ja minkälaisia haasteita kohteen rakennettavuudessa on kohdattu. Esimerkkikohteen rakennettavuutta arvioitiin ensin aiemmin kehitetyllä laskentamenetelmällä rakennemallista, jonka jälkeen kohteen rakennettavuutta analysoitiin arkkitehti- ja talotekniikkamalleista mallintarkastusohjelman avulla. Mallintarkastusohjelmanä tässä työssä käytettiin Solibri Model Checker -ohjelmaa. Rakennettavuusanalyysien tuloksia verrattiin lopuksi vastuuhenkilöiden haastattelutuloksiin.

Työn tuloksena saatiin hyvä käsitys siitä, miten arkkitehdit ja talotekniikkasuunnittelijat ymmärtävät käsitteen rakennettavuus. Molemmat ammattiryhmät käsittävät rakennettavuuden suunnitelmien laatimisena siten, että suunnitelmat voidaan toteuttaa työmaalla. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, ettei rakennettavuuden arviointiin ole vielä käytössä järjestelmällisiä menetelmiä kummallakaan suunnittelualalla. Tapaustutkimus osoitti, että aiemmin kehitettyä rakennettavuuden laskentamenetelmää voidaan soveltaa myös rakennettavuuden arviointiin arkkitehtimallista. Tutkimus osoittaa, että rakennettavuuden alustava arviointi onnistuu arkkitehtimallista, mikä mahdollistaa rakennettavuuden arvioinnin toteuttamisen yleissuunnitteluvaiheessa. Työn tulosten perusteella rakennettavuutta voitaisiin arvioida tulevaisuudessa arkkitehtimallin lisäksi myös talotekniikkamallista. Talotekniikkamallin hyödyntäminen rakennettavuuden arvioinnissa edellyttää kuitenkin jatkotutkimuksia.

Avainsanat rakennettavuus, rakennettavuuden arviointi, tietomallinnus, mallintarkastus

Author Kati Forsblom

Title of thesis Assessment of buildability during architectural and building services design

Department Department of Civil and Structural Engineering

Professorship Structural Engineering and Building**Code of professorship** Rak-43

Physics

Thesis supervisor Professor Jari Puttonen

Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s) Matti Tauriainen M.Sc, Aalto University and Finnmap Consulting Ltd.

Date 16.10.2013**Number of pages** 75 + 15 p.**Language** Finnish

Abstract

The aim of this thesis was to find out how architects and building services designers in Finland understand the concept of buildability and how they currently evaluate buildability in these design areas. In addition, another objective was to apply a previously developed method for quantitative measuring of buildability. The study also examined the use of an architectural and a building services building information model for buildability assessment.

The research was implemented with interviews and case-study both based on a literature research. For the interview research four experienced architects were interviewed and five previously conducted interviews of building services designers were analysed. The case-study consisted of an interview section and buildability analyses of an example project. The project which was used as an example was a real apartment building project, which was under construction during this study. For the case-study eight of the responsible persons of the example project were interviewed. The aim was to find out, how the buildability in the example case was evaluated among the project partners and what kind of buildability challenges they have encountered. The buildability in the example project was examined first from a structural model with previously developed measuring method but also from architectural and building services models with the help of a model checking software. The model checking software used in this thesis is Solibri Model Checker. Finally the results of the buildability analyses were compared with the results of the example project's interviews.

As a result of this thesis, a good understanding of how architects and building services designers understand the concept of buildability was achieved. For both of the disciplines the buildability means the implementation of design at the site. The study shows that presently no systematic methods for the evaluation of buildability exist in either design field. The case-study showed that the previously developed method for measuring buildability can be applied also to assess buildability of an architectural model. The study also shows that a preliminary buildability assessment can be done from an architectural building information model, which enables the assessment of the buildability in conceptual design phase. Based on the results of this thesis, buildability assessment could be done based on architectural or building services building information models in the future. The utilization of a building services model requires, however, further study.

Keywords buildability, buildability assessment, building information modeling, model checking

Sisällysluettelo

Alkusanat

Lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	1
1.1	Tutkimuksen tausta.....	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuksen rajausta.....	2
1.3	Tutkimusmenetelmät ja -aineisto.....	2
1.4	Työn sisältö.....	4
2	Rakennettavuuden määrittely.....	5
2.1	Rakennettavuuden käsitteistö.....	5
2.1.1	Buildability.....	5
2.1.2	Constructability.....	6
2.2	Rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä.....	6
2.2.1	Arkkitehtuuri.....	8
2.2.2	Rakennusrunko.....	9
2.2.3	Talotekniikka.....	10
2.3	Rakennettavuuden arviointimenetelmiä.....	11
2.3.1	BDAS & CAS.....	11
2.3.2	BAM & SDBAM.....	13
3	Tietomallinnuksen hyödyntäminen rakennettavuuden arvioinnissa.....	16
3.1	Tietomallin käyttömahdollisuudet rakennettavuuden arviointityökaluna.....	16
3.2	Tietomallinnuksen laadunvarmistus.....	17
3.2.1	Tekla BIMSight.....	18
3.2.2	Solibri Model Checker.....	19
3.2.3	Autodesk Navisworks Manage.....	21
3.3	Yleiset tietomallivaatimukset 2012.....	21
3.3.1	Arkkitehtisuunnittelu.....	22
3.3.2	Talotekninen suunnittelu.....	23
3.4	Rakennusosien kvantitatiiviseen tietoon perustuva tietomallipohjainen mittausmenetelmä.....	25
4	Rakennettavuus arkkitehtisuunnittelussa.....	28
4.1	Rakennettavuuden käsite.....	28
4.2	Rakennettavuuden arviointi.....	30
4.3	Rakennettavuuden toteuttaminen ja edistäminen.....	31
4.4	Tietomallintamisen merkitys ja hyödyntäminen.....	33
5	Rakennettavuus talotekniikkasuunnittelussa.....	34

5.1 Rakennettavuuden käsite	34
5.2 Rakennettavuuden arviointi	36
5.3 Rakennettavuuden toteuttaminen ja edistäminen	37
5.4 Tietomallintamisen merkitys ja hyödyntäminen	38
6 Rakennettavuuden arvioinnin toteutus esimerkkikohteessa	40
6.1 Case-kohde	40
6.2 Eri projektiosapuolien käsitykset rakennettavuudesta	40
6.3 Haasteet	42
6.4 Rakennettavuuden arviointi suunnittelijoiden toimesta	44
6.4.1 Arkkitehtisuunnittelu	44
6.4.2 Rakennesuunnittelu	45
6.4.3 Talotekniikkasuunnittelu.....	45
6.5 Rakennettavuuden arviointi rakentajan toimesta	46
7 Esimerkkikohteen rakennettavuusanalyysit.....	48
7.1 Menetelmä I: TS-mallin käyttö toteutussuunnitteluvaiheessa.....	48
7.1.1 Tietomalli ja informaation tulostaminen.....	48
7.1.2 Laskentataulukot	51
7.1.3 Rakennettavuuden arvosanan laskenta	52
7.2 Menetelmä II: Arkkitehdin rakennusosamallin käyttö yleissuunnitteluvaiheessa.....	53
7.2.1 Tarvittavan informaation tulostus laskentamenetelmää varten.....	54
7.2.2 Rakennettavuuden arvosanan laskenta arkkitehtimallista	55
7.2.3 Arkkitehtimallin visuaalinen tarkastelu	56
7.3 Menetelmä III: Talotekniikkajärjestelmämallin visuaalinen tarkastelu	58
7.4 Yhdistelmämallin visuaalinen tarkastelu	59
8 Johtopäätökset.....	61
8.1 Arkkitehtien ja talotekniikkasuunnittelijoiden väliset erot rakennettavuuden käsitteellisessä tulkinnassa	61
8.2 Rakennettavuuden arvioinnin toteutus arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelussa	62
8.3 Tietomallintamisen käyttö rakennettavuuden arvioinnissa	63
8.4 Esimerkkikohteen rakennettavuus	63
8.5 Menetelmän I soveltuvuus rakennettavuuden arviointiin	65
8.6 Menetelmä II ja arkkitehtimallin hyödyntäminen rakennettavuuden arvioinnissa.....	65
8.7 Menetelmän III soveltuvuus rakennettavuuden arviointiin.....	67
9 Kehitysehdotukset.....	68
9.1 Arviointimenetelmien sovellusmahdollisuudet	68
9.2 Tietomallin tarkastusohjelman hyödyntäminen rakennettavuuden arvioinnissa	68

9.3 Tietomallipohjaisen arviointimenetelmän kehittäminen rakennettavuuden arvioimiseksi arkkitehtimallista.....	69
10 Yhteenveto.....	71
Lähdeluettelo.....	73
Liite 1: Tutkimukseen haastatellut henkilöt	
Liite 2: Haastatteluissa esitetyt kysymykset	
Liite 3: Rakennettavuuden arvosanan laskentataulukot	
Liite 4: Esimerkkikohteen rakennusosataulukot	

Alkusanat

Tämä tutkimus on tehty diplomi-insinööritutkinnon opinnäytetyönä Aalto-yliopiston Insinöörیتieteiden korkeakoulun rakennustekniikan laitoksella. Työn valvojana on toiminut talonrakennustekniikan professori Jari Puttonen ja työn ohjaajana on toiminut Aalto-yliopiston tutkija ja Finnmap Consulting Oy:n tietomallintamisen kehityspäällikkö, diplomi-insinööri Matti Tauriainen.

Haluan kiittää Matti Tauriaista asiantuntevasta ja kannustavasta ohjauksesta, jota olen saanut läpi koko tutkimusprojektin. Kiitokset myös Jari Puttoselle ja Arto Saarelle hyvistä kehitysehdotuksista, joita olette antaneet projektin edetessä. Lisäksi haluan kiittää Marjo Peltomäkeä Skanskalta, asiantuntevista kommentteista ja työpanoksesta, jonka olet antanut tämän diplomityön kehitystyölle. Suuret kiitokset myös Finnmap Consulting Oy:lle yhteistyöstä, joka on auttanut merkittävästi tämän työn toteutuksessa.

Haluan kiittää myös perhettäni ja avopuolisoani loputtomasta tuesta, jota olen saanut koko opiskelu-urani ajan. Ilman teitä en olisi päässyt näin pitkälle.

Espoossa 16.10.2013

Kati Forsblom

Lyhenneluettelo

AHP	Analytic Hierarchy Process (suom. analyttinen hierarkiaprosessi). Thomas L. Saatyn kehittämä parivertailuun perustuva arviointimenetelmä, jossa luotetaan asiantuntijoiden arvioihin mittauskriteerien prioriteeteista.
BATID	BIM Authoring Tool ID
BCA	The Building and Construction Authority. Singaporen rakennusviranomainen.
BCF	BIM Collaboration Format. Solibri Oy:n kehittämä avoin formaatti mallintarkastuksen yhteydessä havaittujen mielenkiintoisten kohtien ja tilanteiden näyttämiseen eri BIM-työkaluissa.
BDAS	The Buildable Design Appraisal System. Singaporen rakennusviranomaisen (BCA) kehittämä rakennuksien suunnitelmien rakennettavuuden arviointimenetelmä.
BIM	Building Information Modeling (suom. tietomallinnus)
BIMCON	BIM based product data management in industrialized construction supply chain. Skanska Oy:n vetämän tutkimuspaketin nimi. Tutkimus pyrkii edistämään tietomallipohjaista suunnittelua ja rakentamista.
CAS	The Constructability Appraisal System. Singaporen rakennusviranomaisen (BCA) kehittämä rakennusprojektin rakennettavuuden arviointimenetelmä.
CII	The Construction Industry Institute. Yhdysvaltojen rakennusteollisuuden instituutti, joka toimii Teksasin yliopiston alaisuudessa.
CIIA	The Construction Industry Institute Australia. Australian rakennusteollisuuden instituutti.
CIRIA	The Construction Industry Research and Information Association. Iso-Britannian rakennusalan tutkimusyhdistys.
GUID	Globally Unique Identifier. Mallinnusohjelman ylläpitämä yksilöllinen ifc-tunniste. Voi tarkoittaa mallinnuksessa myös globaalia Id-tunnusta (GlobalID).
IFC	Industry Foundation Classes. Tietomalliohjelmistojen yhteinen mallien kuvaustapa. Kirjainyhdistelmällä tarkoitetaan usein myös avointa tiedonsiirtomuotoa (ifc-tiedosto), jolla malleja voidaan siirtää ohjelmistosta toiseen.
PDF	Portable Document Format. Adobe Systems'in kehittämä ohjelmistoriippumaton, siirrettävä tiedostomuoto, jota käytetään pääasiallisesti sähköiseen julkaisemiseen, tulostamiseen ja painamiseen.

PRE	Built Environment Process Re-engineering. RYM Oy:n käynnistämä tutkimusohjelma, jonka tavoitteena on luoda uusia toimintatapoja ja liiketoimintamalleja rakennusosalalle.
RTF	Rich Text Format. Yleinen muotoillun tekstin tallennusmuoto, joka eroaa tavallisesta tekstistä tallentamalla tiedostoihin myös fontit ja fonttikoot sekä yleiset muotoilut.
SDBAM	The Scheme Design Buildability Assessment Model. Hongkongilaisen tutkimusryhmän kehittämä rakennettavuuden arviointityökalu.
SMC	Solibri Model Checker. Solibri Oy:n kehittämä tietomallien laadunvarmistusohjelma.
XML	Extensible Markup Language. Merkintäkieli, jota käytetään sekä formaattina tiedonvälitykseen järjestelmien välillä että formaattina dokumenttien tallentamiseen.

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Tämä tutkimus on osa RYM Oy:n PRE-tutkimusohjelmaan kuuluvaa BIMCON-työpakettia. RYM Oy on vuonna 2009 perustettu rakennetun ympäristön SHOK (strategisen huippuosaamisen keskittymä) -yhtiö. Yhtiö on kiinteistö- ja rakennusalan pääomasijoitusyhtiö, jossa on 53 osakasta. Osakaskuntaan kuuluu sekä kiinteistö- ja rakennusalan eri toimijoita että yliopistoja, tutkimuslaitoksia ja ammattikorkeakouluja. RYM Oy sijoittaa yritysten ja julkisten innovaatorahoittajien rahoitusta ja tietotaitoa alan kansainvälisen kilpailukyvyn kannalta tärkeimpiin tutkimusaiheisiin. [1.]

PRE-tutkimusohjelma on RYM Oy:n ensimmäinen tutkimusohjelma, jota toteutetaan vuosien 2010–2013 ajan. Ohjelman tavoitteena on luoda kiinteistö-, rakennus- ja infraalalle täysin uusia toimintatapoja ja liiketoimintamalleja. BIMCON-työpaketti on yksi tutkimusohjelman kuudesta työpaketista. BIMCON -paketin tavoitteena on luoda kattava teollisen talonrakentamisen tuotetiedon hallintamenettely, joka perustuu rakennuskohteen tietomallin (BIM) hyödyntämiseen toimitusketjun osapuolikohtaisten tietojen yhdistämisessä ja hallinnassa. Työpaketin vetäjänä toimii Skanska Oy.[1.]

Aalto-yliopistossa on suoritettu vuosien 2010–2012 aikana neljä diplomityötä (Raikaa, Mero, Lemström ja Laakso) osana BIMCON-tutkimusta. Nämä aiemmat diplomityöt ovat käsitelleet rakennettavuutta ilmiönä sekä tutkineet tietomallien hyödyntämistä rakennettavuuden arvioinnissa. Talonrakennuksen rakennettavuutta on arvioitu sekä suunnittelun että tuotannon näkökulmasta.

Rakennettavuus käsitteenä ei ole vielä vakiintunut Suomessa, eikä rakennettavuuden arviointia toteuteta järjestelmällisesti. Maailmalla rakennettavuuden vaikutuksia rakennushankkeelle on tutkittu jo vuosikymmeniä [2]. Jotta rakennettavuuden arviointia voitaisiin toteuttaa järjestelmällisesti, on selvitettävä, minkälaisia asioita rakennushankkeen eri osapuolet liittävät käsitteeseen rakennettavuus.

Mero (2012) käsittelee työssään rakennettavuutta suunnittelun näkökulmasta ja esittää listauksen rakennettavuuteen vaikuttavista kvantitatiivisista tekijöistä. Laakso (2012) on kehittänyt tämän listauksen pohjalta kvantitatiivisen mittausmetodiikan, jossa tietomallin avulla pystytään arvioimaan rakennusrungon rakennettavuutta. Lemström (2012) käsittelee työssään rakennettavuutta tuotannon näkökulmasta. Tutkimuksessa selvitettiin mm. miten tietomallintamisen avulla voidaan helpottaa tiedonkulkua tuotantopuolen ja suunnittelijoiden välillä. Raikaa (2011) käsittelee rakennettavuutta myös tuotannon näkökulmasta. Työssä on tutkittu, miten tietomalliohjelmistoja tulisi kehittää, jotta tietomallinnusta voitaisiin käyttää paremmin työturvallisuuden suunnitteluun, ohjaamiseen ja valvontaan.

Aikaisemmat tutkimukset ovat siis rajautuneet lähinnä rakennesuunnitteluun ja rakennustuotantoon. Arkkitehti- tai talotekniikkasuunnittelijoiden näkemyksiä rakennettavuudesta ei ole vielä selvitetty. Tässä tutkimuksessa keskitytään näihin kahteen osaluokkaan ja jatketaan tietomallinnuksen hyötyjen selvittämistä talonrakennuksen rakennettavuudelle.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuksen raja

Tämän tutkimuksen kolme päätavoitetta ovat:

- I. Selvittää, mitä arkkitehdit ja talotekniikkasuunnittelijat ymmärtävät käsitteellä rakennettavuus.
- II. Luoda kokonaiskuva nykyisistä rakennettavuuden arviointimenetelmistä arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelussa.
- III. Testata ja soveltaa aiemmin kehitettyä rakennettavuuden tietomallipohjaista arviointimenetelmää.

Aiemmissa tutkimuksissa on tuotu esille lähinnä rakennesuunnittelijoiden ja tuotannon toimijoiden käsityksiä rakennettavuudesta. Arkkitehtien ja taloteknisten suunnittelijoiden näkökulmaa ei ole vielä tarkasteltu, minkä johdosta tämä tutkimus rajataan käsittelemään talonrakennuksen arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelua. Tutkimuksessa selvitetään, miten arkkitehti ja talotekniikkasuunnittelija kokevat rakennettavuuden ja mitä rakennettavuudella käsitetään.

Tutkimuksen toisena tavoitteena on selvittää, miten arkkitehdit ja talotekniikkasuunnittelijat arvioivat rakennettavuutta työssään ja minkälaisia työkaluja heillä on siihen käytössä. Tutkimuksella pyritään myös selvittämään, missä suunnitteluvaiheessa rakennettavuutta tulisi arvioida arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelun näkökulmasta. Tutkimus rajautuu tyypillisiin talonrakennuskohteisiin, erityisesti asuin- ja liikerakennuksiin.

Aikaisempien tutkimusten pohjalta on kehitetty tietomallipohjainen rakennettavuuden arviointimenetelmä (Laakso, 2012), joka arvioi rakennesuunnitelmien rakennettavuutta. Tutkimuksessa tarkastellaan tämän menetelmän sovellettavuutta ja mahdollisia puutteita. Lisäksi tutkitaan, miten rakennettavuutta tulisi arvioida tietomallipohjaisessa arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelussa.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

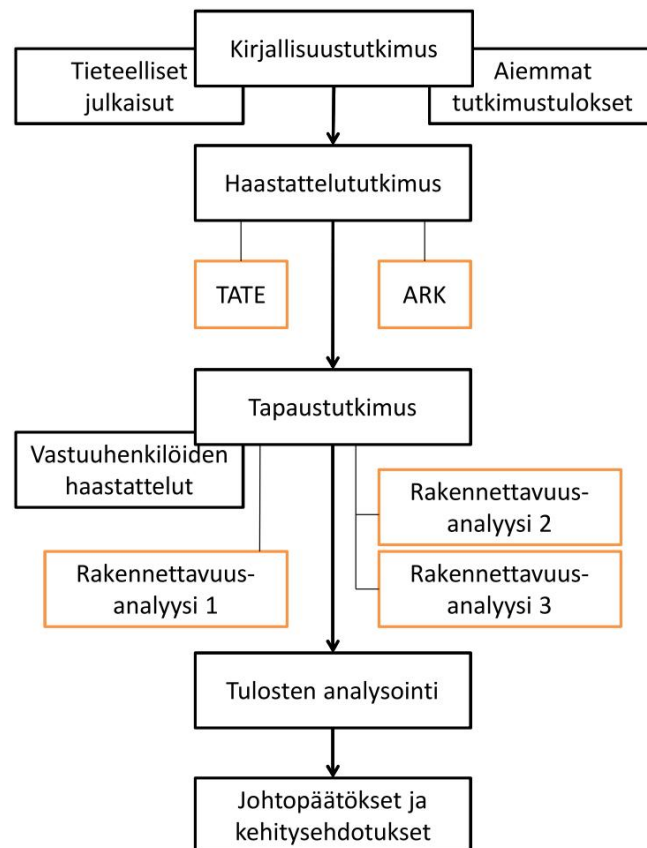
Rakennettavuuden teoriaan ja tutkimuksen aiheeseen tutustutaan kirjallisuustutkimuksella, jonka aineisto koostuu rakennettavuuteen liittyvistä aiemmista tutkimustöistä (Raikaa, Mero, Lemström ja Laakso), sekä rakennettavuuden arviointia ja tietomallinnusta käsittelevistä tiedeartikkeleista ja kirjallisuudesta. Kirjallisuustutkimus luo pohjan toteutettaville haastattelu- ja tapaustutkimuksille.

Haastattelututkimus toteutetaan puolistrukturoituna teemahaastattelututkimuksena, jonka tarkoituksena on selvittää, miten arkkitehdit ja talotekniikkasuunnittelijat käsittävät termin rakennettavuus ja kuinka he toteuttavat rakennettavuuden arviointia työssään tällä hetkellä. Haastatteluaineistona käytetään viittä, jo aiemmin toteutettua, talotekniikkasuunnittelijan haastattelua. Lisäksi haastatellaan neljää arkkitehtia, jotka edustavat työtaustaltaan erilaisia rakentamisen alueita. Haastattelututkimus suoritetaan heti tutkimusprojektin alussa. Kaikki tehdyt haastattelut nauhoitetaan ja litteroidaan mahdollisimman pian haastattelutilaisuuden jälkeen.

Tapaustutkimus muodostuu haastatteluosiosta ja esimerkkikohteen rakennettavuusanalyysistä. Esimerkkikohteeksi tutkimukseen on valittu todellinen rakennusprojekti, jonka rakennettavuutta tarkastellaan projektin vastuuhenkilöiden haastattelujen ja kohteen

tietomallien avulla toteutettavien analyysien pohjalta. Esimerkkikohteen projektihenkilöistä haastatellaan arkkitehtia, vastaavaa rakenne-, lvi-, sähkö- ja pohjarakennesuunnittelijaa, sekä rakennusurakoitsijan puolelta kohteen vastaavaa työnjohtajaa sekä rakennettavuuden arvioinnista vastanneita henkilöitä. Haastatteluilla pyritään luomaan laaja-alainen käsitys kohteen rakennettavuuden arviointiprosessista ja käytetyistä arviointimenetelmistä eri osapuolien keskuudessa. Esimerkkikohteen rakennettavuusanalyysi tehdään ensin aiemmin luodulla arviointimenetelmällä. Ennen analyysin suorittamista menetelmään ja sen perusteisiin tutustutaan huolellisesti ja opetellaan käyttämään tarvittavia Excel-taulukkoja. Kohteen analysointia varten tulostetaan tarvittavat Tekla-raportit tietomallista, jonka jälkeen voidaan suorittaa rakennettavuuden arviointitarkastelu. Tämän jälkeen esimerkkikohteen rakennettavuutta tutkitaan mallintarkastusohjelmalla. Mallintarkastusohjelmalla tässä tutkimuksessa käytetään Solibri Model Checker -ohjelmaa, jonka peruskoulutuksen tutkija kävi tutkimustyön alussa. Analyysien perusteella selvitetään, miten arkkitehtimallia ja talotekniikkamallia voitaisiin hyödyntää rakennettavuuden arvioinnissa.

Lopuksi tutkimustuloksia analysoidaan ja tehdään tarvittavat johtopäätökset. Tutkimuksen tuloksena voidaan hyväksyä tai hylätä aiemmin esitetty rakennettavuuden tietomallipohjainen arviointimenetelmä tai ehdottaa toisenlaista menetelmää ratkaisuksi. Lisäksi tutkimustuloksena saadaan muodostettua käsitystä siitä, miten rakennettavuus ymmärretään käsitteenä arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelussa ja miten sitä toteutetaan tällä hetkellä näillä suunnittelualoilla. Tutkimuksen kulku on kuvattu kaaviossa 1.



Kaavio 1. Tutkimuksen kulku.

1.4 Työn sisältö

Luvussa 2 käsitellään rakennettavuuden määrittelyä. Rakennettavuuden käsitteistöä esitellään kansainväliset termit: *constructability* ja *buildability*. Luvussa käydään läpi myös, minkälaisia rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä aiemmissa tutkimuksissa on havaittu ja mikä niiden merkitys on. Luvussa 2 esitellään myös, minkälaisia rakennettavuuden arviointimenetelmiä on kehitetty.

Luku 3 keskittyy tarkastelemaan tietomallinnusta rakennettavuuden arvioinnin työkaluna. Luvussa esitellään ensin, minkälaiset käyttömahdollisuudet tietomalleilla on rakennettavuuden arviointityökaluina. Luvussa 3.2 käsitellään tietomallinnuksen laadunvarmistusta rakennettavuuden arvioinnin näkökulmasta ja esitellään yleisimmät Suomessa käytössä olevat tietomallien laadunvarmistusohjelmat. Yleiset tietomallivaatimukset ovat kansallisella tasolla melko uusi asia, minkä takia näitä esitellään luvussa 3.3. Luvussa tarkastellaan erikseen arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelun tietomallivaatimusten periaatteita. Luvussa 3.4 käydään läpi aiemmin kehitetyn rakennusosien kvantitatiiviseen tietoon perustuvan mittausmenetelmän laskentaperiaatteita.

Luvuissa 4 ja 5 raportoidaan arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelijoiden haastatteluiden tuloksia. Aluksi käydään läpi, miten nämä osapuolet ymmärsivät käsitteen rakennettavuus ja minkälaisia asioita he yhdistivät siihen. Seuraavaksi käsitellään sitä, miten arkkitehdit ja talotekniikkasuunnittelijat arvioivat rakennettavuutta tällä hetkellä työssään. Myös mahdolliset työvälineet ja -menetelmät käydään läpi. Lopuksi tarkastellaan tietomallinnuksen merkitystä rakennettavuudelle näillä suunnittelualoilla ja kerrotaan, miten tietomallinnusta hyödynnetään.

Luku 6 käsittelee esimerkkitapahtuman tarkastelua rakennettavuuden arvioinnin näkökulmasta. Luvussa käydään läpi esimerkkitapahtuman vastuuhenkilöiden haastattelujen tuloksia. Ensin esimerkkitapahtuma esitellään lyhyesti, jonka jälkeen käydään läpi eri projektiosapuolien käsityksiä rakennettavuudesta. Luvussa 6.3 on esitelty, minkälaisia haasteita esimerkkitapahtumassa on ollut. Luvuissa 6.4 ja 6.5 keskitytään siihen, miten eri osapuolet ovat ko. projektissa toteuttaneet rakennettavuutta, miten rakennettavuutta on arvioitu ja minkälaisiin asioihin osapuolet ovat kiinnittäneet rakennettavuuden osalta huomiota.

Esimerkkitapahtuman rakennettavuusanalyysit on raportoitu luvussa 7. Ensin käydään läpi aiemmin kehitetty menetelmä, jonka avulla on pyritty määrittämään esimerkkitapahtumalle rakennettavuuden arvosana. Seuraavaksi käydään läpi tuloksia siitä, miten esimerkkitapahtuman rakennettavuutta on tutkittu arkkitehti- ja talotekniikkamallien perusteella mallintarkastusohjelmaa hyödyntäen.

Luvussa 8 tehdään johtopäätökset havaituista tuloksista ja luvussa 9 esitellään kehitysehdotuksia rakennettavuuden arviointimenetelmien soveltamisesta. Lisäksi annetaan kehitysehdotuksia mallintarkastusohjelman hyödyntämisestä rakennettavuuden arvioinnissa ja arkkitehtimallin tietomallipohjaisesta arviointimenetelmästä. Luvussa 10 on tehty yhteenveto työssä tehdyistä havainnoista.

2 Rakennettavuuden määrittely

2.1 Rakennettavuuden käsitteistö

Rakennettavuuden käsite on aina subjektiivinen ja hankekohtainen. Jokainen määrittelee rakennettavuuden kokemuksiensa ja tottumustensa kautta. Koska rakennettavuuden käsite on abstrakti, sen määrällinen, suora mittaaminen ei ole mahdollista. Yksinkertaistettuna rakennettavuus voi tarkoittaa rakentamisen sujuvuutta ja hankkeiden tavoitteiden saavuttamista. [2, s. 11–13.]

Mero (2012) on tulkinnut rakennettavuuden tutkimuksessaan ”rakennesuunnitelmien turvalliseksi, ongelmattomaksi ja sujuvaksi toteuttamiseksi työmaalla.” Suunnitelmien on oltava laadukkaita, virheettömiä, puutteettomia ja selkeitä, jotta hyvä rakennettavuus voidaan saavuttaa. Rakennettavuuden tulee myös tukea rakennushankkeelle asetettujen hankkeiden toteutumista ja kohteen käyttötarkoitusta. [2, s. 13]

Meron tulkinta perustuu suomalaisten suunnittelijoiden haastatteluihin ja kansainvälisiin julkaisuihin rakennettavuudesta. Rakennettavuutta on tutkittu jo 1960-luvulta lähtien [3]. Englanninkielellä julkaistu rakennettavuuden tutkimus on lähtöisin Iso-Britanniasta, josta se on levinnyt Yhdysvaltoihin ja Australiaan 1980- ja 1990-lukujen taitteessa. Nämä maat ovat määritelleet ja tutkineet rakennettavuutta hieman eri tavoilla, mutta määritelmät ovat vakiinnuttaneet asemansa rakennettavuuden tutkimuksessa kansainvälisellä tasolla. Suomessa rakennettavuutta on tutkittu vielä hyvin vähän.

Rakennettavuuden termit, joita englanninkielisissä tutkimuksissa käytetään, ovat ”buildability” ja ”constructability”. Näiden termien määritelmät eroavat toisistaan, vaikka niillä on sama suomennos: rakennettavuus [2, s. 12]. Tämä vaikeuttaa entisestään suomenkielisen rakennettavuus-termin määrittelyä, sillä termille ei pystytä kielellisesti määrittelemään samanlaista sisältöeroa kuin englanninkielessä. Englanninkielisillä termeillä on kuitenkin kaksi yhteistä pääpiirrettä: rakennettavuuden tavoitteena on toteuttaa suunnitelmat niin, että ne helpottavat kohteen rakennustöitä ja tukevat hankkeen kokonaistavoitteiden saavuttamista [2, s. 12]. Luvuissa 2.1.1 ja 2.1.2 on esitelty termin ”buildability” ja ”constructability” taustaa ja merkitystä.

2.1.1 Buildability

1970-luvun lopulla Iso-Britanniassa etsittiin tutkimuksen ja käytännön sovellusten avulla keinoja rakennushankkeiden tehostamiseksi sekä kustannusten että laadun osalta. Käsite ”buildability” syntyi tämän tutkimustyön pohjalta ja vuonna 1983 Iso-Britannian rakennusalan tutkimusyhdistys, CIRIA, määritteli käsitteen [3]:

”Buildability is the extent to which the design of a building facilitates ease of construction, subject to the overall requirements for the completed building.”

Mero on suomentanut käsitteen määrittelyn seuraavalla tavalla [2, s. 11–12]:

”Rakennettavuus on kokonaisuus, jolla rakentamista voidaan helpottaa suunnittelulla niin, että valmiille rakennukselle asetetut vaatimukset täyttyvät.”

”Buildability” -käsitteen taustalla ollut tutkimus keskittyi tarkastelemaan suunnitelmien ja suunnitteluvaiheen merkitystä rakennushankkeen tehokkaalle toteuttamiselle. 1960-

luvun alussa Iso-Britanniassa havahduttiin huolestuttavaan ilmiöön: suunnittelun ja rakentamisen selvään eriytymiseen. Tämän uskottiin olevan merkittävin syy suunnitelmi- en huonoon laatuun ja toisaalta rakentamisen huonoon tuottavuuteen. Yhtenä ratkaisuna tähän ongelmaan pidettiin tuolloin suunnittelun ja rakentamisen vuorovaikutuksen ja yhteistyön lisäämistä. ”Buildability”-termi mielletäänkin erityisesti suunnittelun keinoksi vaikuttaa rakennushankkeen onnistumiseen ja rakentamisen sujuvuuteen, kuten käsitteen määritelmästä voidaan huomata. [2, s. 12; 3]

”Buildability”-käsitteen suppeaa määritelmää, jonka mukaan vain suunnittelulla pystytään helpottamaan rakennettavuutta, on myöhemmissä tutkimuksissa arvosteltu. 1980-luvulla Iso-Britanniassa tehdyissä rakennettavuuden jatkotutkimuksissa pääpaino pidettiin edelleen suunnittelun vaikutuksissa, mutta tutkimuksissa otettiin esille myös, kuinka rakennushankkeen työmaa- ja projektinjohtotekijät on otettava huomioon rakennettavuuden tarkasteluissa. [3.]

2.1.2 Constructability

1980-luvun alussa Yhdysvalloissa perustettiin tutkimusryhmä, jonka tehtävä oli selvittää syitä Pohjois-Amerikan rakennusalan heikkoon kustannustehokkuuteen ja laatuun. Vuonna 1983 Yhdysvaltoihin perustettiin rakennusteollisuuden instituutti, CII, joka sijoitettiin Texasin yliopistoon. Instituutin tavoitteena on ollut tutkia rakennettavuutta ja he määrittivät termin ”constructability” ensimmäisen kerran vuonna 1987 [3]:

”Constructability is the optimum integration of construction knowledge and experience in planning, engineering, procurement and field operations to achieve overall project objectives.”

Mero on suomentanut määritelmän työssään näin [2, s. 12]:

”Rakennettavuus on tiedon ja kokemuksen optimaalinen yhdistäminen kaikissa rakentamisen vaiheissa projektin tavoitteiden kokonaisvaltaiseksi saavuttamiseksi.”

”Constructability” -käsite on luonteeltaan siis paljon laajempi kuin ”buildability”. Itse asiassa käsite ”constructability” pitää sisällään termin ”buildability”, sillä Yhdysvalloissa kehitetyllä rakennettavuuden käsitteellä ymmärretään kaikkia rakentamisen vaiheita projektissa, suunnittelu mukaan lukien. ”Constructability” -käsitteellä on siis paljon kokonaisvaltaisempi merkitys. Rakennettavuuden hallinta kuuluu kaikkiin hankkeen vaiheisiin ja kaikille hankkeessa toimiville. [2, s. 12.]

2.2 Rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä

Rakennettavuus-käsitteen subjektiivisuuden ja laajuuden takia rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä on hyvin vaikea nimetä. Tekijät ovat riippuvaisia siitä, miten rakennettavuutta tulkitaan ja mihin tavoitteisiin sillä halutaan pyrkiä. Rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu mm. Kiinassa ja Malesiassa. Tutkimukset ovat pohjautuneet eri maiden tutkimuslaitosten tekemiin selvityksiin ns. rakennettavuusperiaatteista (”buildability principles” tai ”buildability attributes”), joilla voidaan vaikuttaa hankkeen rakennettavuuteen. Erityisesti CIRIA:n ja CII:n listaukset erilaisista tekijöistä ovat olleet paljon käytettyjä. Myös Australian rakennusteollisuuden instituutin, CIIA:n, listaus rakennettavuusperiaatteista on ollut suosittu alan julkaisuissa. [3.]

Rakennettavuuden tutkimus on jakautunut selkeästi kahteen osa-alueeseen: menetelmien ja periaatteiden etsimiseen, joilla suunnittelun avulla voidaan helpottaa rakennustuotantoa ja sellaisten menetelmien etsimiseen, joilla koko hankkeen hallinnan avulla voidaan tehostaa tuotantoa. Ensimmäisen tapauksen menetelmät ovat usein teknisiä, kun toisen tapauksen menetelmät liittyvät usein organisaation tai yrityksen strategian muuttamiseen. Esimerkiksi yhteistyön lisääminen, kommunikaation parantaminen ja hanke-menetelmien kehittäminen ovat tällaisia menetelmiä. [2, s. 13.]

Mero on listannut työssään suunnitteluvaiheen kannalta merkittäviä periaatteita, jotka ovat olleet yhteisiä useille eri tutkimusartikkeleille [2, s. 14]:

- Perusteellinen tontin sekä rakennusolosuhteiden tutkiminen ennen suunnittelun aloittamista
- Suunnitelmien tarkastaminen ristiriitaisuuksien ja päällekkäisyyksien poistamiseksi
- Muunneltavuuden ja joustavuuden suosiminen suunnitelmissa ja rakenneosissa
- Tilankäytön ja logistiikan huomiointi työmaalla
- Työvälineiden ja työmaan rajoitusten huomioiminen
- Resurssien saatavuuden huomiointi sisältäen työvoiman, materiaalit sekä rakennusosat
- Kestävien ja käyttötarkoitusta tukevien materiaalien käyttö
- Rakenneosien yksinkertaiset ja helposti käsiteltävät geometriset muodot
- Moduulien ja standardien mukaisten rakenneosien suosiminen
- Toistuvien rakenteiden, detaljien ja rakenneosien suosiminen
- Esivalmistettujen rakenneosien ja elementtien käyttö
- Suunnitelmien tarkka visualisointi työmaalle
- Työturvallisuuden huomiointi
- Tarkkojen ohjeiden antaminen materiaalien ja rakennusosien käsittelyyn ja asentamiseen
- Toleranssien suunnitteleminen saavutettaviksi
- Suunnitelmien tietosisällön kehittäminen

Listatut periaatteet mukailevat Hongkongissa tehtyä tutkimusta (Wong, Lam, Chan & Wong, 2006), jossa etsittiin rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä strukturoitujen asiantuntijahaastatteluiden ja kirjallisuustutkimuksen perusteella. Tutkijat kehittivät haastattelujen ja kirjallisuusselvityksen pohjalta 63 rakennettavuuden käsitettä, jotka ryhmiteltiin 16 otsikon alle ja jaettiin kahteen kategoriaan: käsitteisiin, jotka liittyvät suunnitteluprosessiin ja käsitteisiin, jotka liittyvät suunnittelun lopputuloksiin. [4.]

Tutkimuksessa listatut 16 käsitettä yhdistettiin yhdeksän avaintekijän kokonaisuudeksi, jonka Laakso (2012) on esitellyt työssään [5, s. 28.]:

1. Urakoitsijan mahdollisuus hyödyntää resurssejaan taloudellisesti,
2. Suunnitteluratkaisujen helppo visualisointi ja hallinta työmaalla,
3. Urakoitsijan mahdollisuus kehittää vaihtoehtoisia rakennedetaljeja,
4. Työmaan olosuhteiden huomiointi ja urakoitsijan mahdollisuus järjestää varastointi ja kulku työmaalle tehokkaasti,
5. Standardoinnin ja toistuvuuden mahdollistaminen,
6. Mahdollisuus toteuttaa ratkaisut niin esivalmistus- kuin työmaatekniikoilla,

7. Rakennedetaljien yksinkertaisuus elementeissä, joiden toistuvuus on pieni,
8. Haitallisen sään vaikutuksen minimointi joustavalla aikataululla,
9. Työmaan työturvallisuuden huomiointi suunnitelmissa.

Rakennettavuuteen vaikuttavien avaintekijöiden selvittäminen on välttämätöntä, mikäli rakennettavuutta halutaan mitata kvantitatiivisesti. Rakennettavuuden kvantifioinnin kehittäminen on yksi merkittävimmistä kehityskohteista rakennettavuuden tutkimuksessa, sillä rakennettavuuden kvantitatiivinen arviointi on objektiivisin tapa arvioida kohteen rakennettavuutta. Arviointi on kuitenkin haasteellista, sillä kaikkien mahdollisten mitattavissa olevien rakennettavuustekijöiden huomioiminen on vaikeaa projektien ainetlaatuudesta johtuen. Suunnitelmien kvalitatiivisten tekijöiden tarkastelu on usein helpompi ratkaisu. [2, s. 20, 87.]

Kvalitatiivisia rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä on paljon ja niiden merkitys on sekä projektikohtaista että subjektiivista. Kvalitatiivisia eli laadullisia tekijöitä ei pystytä mittaamaan lukuarvoilla, vaan niitä täytyy arvioida tarkastelemalla suunnitelmia ja projektin olosuhteita. Laakso on luetellut työssään suunnitelmista tarkasteltaviksi kvalitatiivisiksi tekijöiksi mm. detaljisuunnittelun tarkkuuden, suunnitelmien ristiriidattomuuden ja suunnitelmissa käytetyt rakenneratkaisut. Projektin olosuhteista riippuvia laadullisia rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi työmaan sääolosuhteet, ammattitaitoisen työvoiman saatavuus sekä työmaan sijainti ja ympäristö. Olosuhteiden merkitys suunnitteluratkaisuiden rakennettavuuteen on merkittävä, minkä takia suunnitelmat on toteutettava aina projektissa käytettävissä olevat resurssit huomioiden. [5, s. 26.]

2.2.1 Arkkitehtuuri

Aikaisemmissa tutkimuksissa rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu lähinnä rakentajan ja rakennesuunnittelun näkökulmasta. Kirjallisuudesta ja alan julkaisuista ei löydy viitteitä arkkitehtuurin vaikutuksista rakennettavuudelle. Tutkituista rakennettavuuteen vaikuttavista tekijöistä arkkitehtuurin voidaan kuitenkin katsoa vaikuttavan merkittävään osaan tekijöistä.

Eskola (2005) määrittelee arkkitehtuurin käsitteen tutkimuksessaan seuraavasti [6, s. 185]:

”Rakennusta pidetään arkkitehtuurina silloin, kun se on käyttövälineenä tarkoituksenmukainen ja toimii samalla rakennustaideteoksena.”

Määritelmässä yhdistyy rakennuksen kaksi erilaista olomuotoa: rakennus, jonka tarkoitus on olla käyttöväline ja rakennus, jonka tarkoitus on olla taideteos. Käyttövälineenä rakennuksen on täytettävä seuraavien laatukategorioiden sisältämät vaatimukset: käytettävyys, koettavuus, tekninen laatu ja taloudellinen arvo. Rakennuksen toimiessa taideteoksena sen on oltava symbolinen. [6, s. 185.]

Arkkitehtisuunnittelussa rakennettavuuteen voidaan siis vaikuttaa käytettävyyden, teknisen laadun ja talouden kautta. Arkkitehtisuunnittelussa rakennus voidaan suunnitella seitsemän kategorian kokonaisuutena. Nämä kategoriat ovat: rakennuksen paikka, tilaohjelma, muoto, tila, kierto, rakenne ja pinta. Rakennuksen paikka määrittelee arkkitehtisuunnittelussa sen, voidaanko rakennus suunnitella itsenäisenä kokonaisuutena vai tuleeeko se liittää tiiviisti ympäristöönsä. Ympäristötekijät, kuten liikennöidyt kadut ja olemassa olevat näköalat, vaikuttavat valtaosaan rakennustyypeistä. Käytössä oleva

vapaa tila on oleellista rakennuksen suunnittelussa. Lisäksi rakennuspaikka määrittelee paikalliset olosuhteet: tontin ja rakennuksen sijainnin suhteessa ilmansuuntiin, ilmastoon sekä melu- ja tuuliolosuhteet. Paikalliset olosuhteet voivat vaikuttaa merkittävästi rakennuksen muodon suunnitteluun. [7, s. 19; 8.]

Seitsemästä kategoriasta kolme voidaan selkeästi yhdistää aiemmissa tutkimuksissa listattuihin rakennettavuuteen vaikuttaviin tekijöihin. Nämä kategoriat ovat: rakennuksen paikka, muoto ja rakenne. Rakennuksen muoto liittyy kiinteästi myös tilan ja tilaohjelman kategorioihin. Esimerkiksi julkiset rakennukset ovat muodoltansa usein avoimempia ja korkeampia kuin yksityiset rakennukset, jossa tilat ovat suljetumpia ja matalampia. Rakennejärjestelmä vaikuttaa puolestaan arkkitehtonisesti julkisivun suunnitteluun. Esimerkiksi pilari-laattajärjestelmässä kantavat rakenteet sijaitsevat yleensä rakennuksen sisäpuolella, mikä mahdollistaa julkisivun melko vapaan suunnittelun. [7, s. 19, 21.]

Arkkitehtuurin käsite liittyy siis kiinteästi rakennettavuuden käsitteeseen. Arkkitehtisuunnittelussa tehtävät ratkaisut vaikuttavat automaattisesti myös muihin suunnittelu-aloihin. Esimerkiksi rakennuksen muoto vaikuttaa oleellisesti rakennejärjestelmän valintaan sekä sen tuotannon järjestelyihin. Arkkitehtuuri-käsitteen määrittelyn yhteydessä mainittu vaatimus, koettavuus, on ainoa rakennukselle asetetuista arkkitehtonisista vaatimuksista, jolla ei ole varsinaista yhteyttä listattuihin rakennettavuustekijöihin.

2.2.2 Rakennusrunko

Rakennuksen runko on yksi merkittävimmistä rakennettavuutta määrittelevistä tekijöistä. Rungon materiaali vaikuttaa luonnollisesti rakennuksen tuotantotapaan. Teräsrunkoisissa rakennuksissa hyödynnetään paljon tehdasvalmisteisia valmisosia, kun betonirunko mahdollistaa myös kokonaisvaltaisen paikalla rakentamisen. Aikaisemmissa tutkimuksissa rakennettavuutta edistäviksi tekijöiksi on listattu mm. standardointi sekä esivalmistettujen rakenneosien ja elementtien käyttö. Rakennusrungon tyyppi vaikuttaa juuri näihin tekijöihin oleellisesti. Tässä tutkimuksessa keskitytään betonirakenteisiin rakennusrunkoihin.

Stanfordin yliopistossa, Kaliforniassa tehdyssä tutkimuksessa (Fischer & Tatum, 1997) tutkittiin paikalla valettavien teräsbetonirakenteiden rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä, joihin on mahdollista vaikuttaa hankesuunnitteluvaiheen suunnitteluratkaisuilla. Tutkimuksessa havaittiin kuusi erilaista kriittistä muuttujaa, jotka ovat tärkeitä betonirakenteen rakennettavuudelle [9]:

- Rakenneosan mitat,
- Rakenneosien väliset etäisyydet,
- Rakenneosien mittojen ja etäisyyksien muutokset,
- Raudotteiden määrä ja tyyppi
- Betonin lujuus
- Toistuvuus mitoissa ja etäisyyksissä sekä modulaarisuus.

Listatut muuttujat vaikuttavat rakenneosien tuotantotekijöihin. Esimerkiksi betonin lujuus vaikuttaa betonin työstämistapoihin työmaalla: korkealujuusbetoni vaatii huolellisempaa jälkihoitoa kuin normaalilujuuksinen betoni. Rakennesuunnittelijalla on merkittävä rooli rakenneosien mittojen suunnittelussa. Suunnittelemalla ulkomitoiltaan saman-

laisia palkki- ja pilarirakenteita, joita toistetaan rakennuksessa kerroksittain, yksinkertaistetaan sekä muotitus- että raudoitustyötä [9].

Betonointitöiden tuottavuuteen vaikuttavia rakennettavuustekijöitä on myös tutkittu (Jarkas, 2012). Rakennesuunnittelijoilla on tutkimuksen mukaan konkreettinen vaikutus teräsbetonirakenteiden betonointityön tuottavuuteen. Suunnitteluratkaisuissa tulisi huomioida valitun betonimassan työstettävyys, erityisesti silloin kun rakenneosa on raskeasti raudoitettu. Tiheitä raudoituksia tulisi välttää betonin tiivistämistyön helpottamiseksi. Suunnittelijan tulisikin suosia ennemmin suurempia raudoitetankoja useamman pienen tangon sijasta aina kun se on mahdollista. [10.]

Arkkitehtisuunnittelussa tavoitellut rakennusneliöt tulisi pyrkiä saavuttamaan mahdollisimman vähällä kerrosmäärillä, sillä matalat rakennukset ovat betonointityön kannalta tuottavampia kuin korkeat. Työmaajohdon tulisi suunnitella betonointityöt mahdollisimman tehokkaasti ja kustannusten hallintaan tulisi kiinnittää huomiota. Betonointityön tuottavuuden maksimoimiseksi betonointi tulisi suorittaa mahdollisimman suurissa valuerissä. [10.]

Vaikka tutkimuksissa listatut rakennettavuuteen vaikuttavat tekijät käsittelevätkin paikalla valettavia betonirakenteita, voidaan suurin osa tekijöistä yhdistää myös betonielementteihin. Mitoiltaan ja raudoituksiltaan samanlaisten elementtien suunnittelu nopeuttaa sekä elementtien valmistusta että niiden asennusta. Betonointitöiden tuottavuuteen vaikuttavista rakennettavuustekijöistä raudoitustiheyden ja betonimassan työstettävyyden huomioimista voidaan soveltaa myös betonielementtien tehdastuotantoon.

2.2.3 Talotekniikka

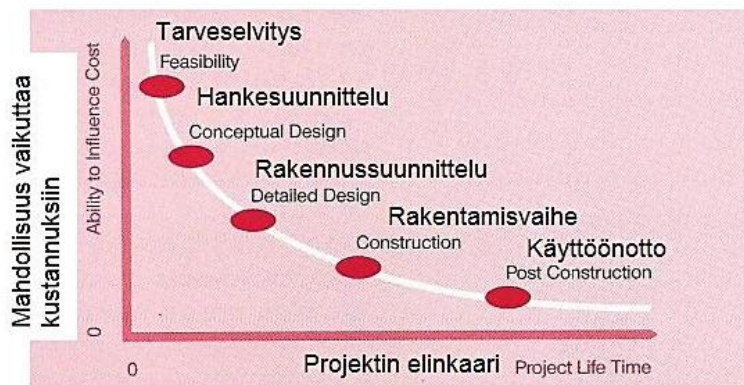
Talotekniikka on nykyaikaisissa rakennuksissa yhä tärkeämmässä roolissa ja sen merkitys koko rakennuksen rakennettavuudelle on suuri. Rakennettavuuden ongelmat kulminoituvat usein talotekniikan asennuksen yhteydessä. Esimerkiksi asennettaessa ilmanvaihtokanavaa, saatetaan huomata, että seinäelementistä puuttuu tarvittava aukko tai eristystyölle ei ole riittävästi tilaa. Tällaiset tilanteet ovat merkkejä puutteellisesta rakennettavuuden huomioimisesta.

Talotekniikan suuresta roolista huolimatta, sen vaikutuksia rakennettavuudelle on tutkittu vähän. Kirjallisuudesta ei löydy tutkimuksia, jotka olisivat tutkineet suoraan talotekniikan vaikutuksia rakennettavuudelle. Sen sijaan löytyy tutkimuksia, joissa on kehitetty tietopohjia talotekniikan koordinoinnin avuksi (Tabesh & Staub-French, 2006 ja Korman, Fischer & Tatum, 2003).

Edellä mainittujen tutkimusten perusteella talotekniikan rakennettavuuteen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kahteen osa-alueeseen: suunnitteluun ja rakentamiseen. Suunnittelulla määritellään talotekniikan suorituskky, tarvittavat tukijärjestelmät (putkikannattimet, sähköarinat yms.), vapaat välit, eristykset, estetiikka ja toiminnot. Rakentamisen toiminnoista vaadittu asennustila ja asennusjärjestys on huomioitava jo suunnitteluvaiheessa rakennettavuuden takaamiseksi. Myös rakentamisen aikainen työturvallisuus ja toleranssien huomioiminen ovat tärkeitä talotekniikan rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Vapaa tila, turvallisuus ja suorituskky ovat tekijöitä, jotka tulee huomioida myös talotekniikan käytön ja ylläpidon suunnittelussa. [11, 12.]

2.3 Rakennettavuuden arviointimenetelmiä

Kuten jo aiemmin todettiin, rakennettavuuden arviointimenetelmien kehittäminen on haasteellista rakennettavuus-käsitteen abstraktin luonteen vuoksi. Arviointimenetelmien kehittäminen on kuitenkin tärkeää, jotta rakennettavuuden hyödyt olisi konkreettisesti todistettavissa ja rakennettavuutta ryhdyttäisiin toteuttamaan järjestelmällisesti rakennusprojektin suunnitteluvaiheessa. Rakennettavuuden toteuttaminen heti projektin alkuvaiheissa on välttämätöntä, jos projektin kokonaiskustannuksia halutaan vähentää. Vaikutusmahdollisuudet hankkeen kustannuksiin vähenevät merkittävästi projektin edetessä hankesuunnitteluvaiheesta rakennussuunnitteluvaiheeseen, kuten kuvasta 1 nähdään.



Kuva 1. Kustannusten vaikutuskäyrä. [13, s. 8.]

Rakennettavuuden arviointi hankesuunnitteluvaiheessa on tärkeää myös siksi, että voidaan saavuttaa mahdollisimman toteutettavia ja käytännöllisiä ratkaisuja. Suunniteltujen ratkaisuiden taloudellisuuden varmistaminen on myös tärkeä motivoiva tekijä toteuttaa rakennettavuuden arviointia heti hankkeen alkumetreillä. [5, s. 15.]

Kansainvälisissä tutkimuksissa on esitelty erilaisia laskentamenetelmiä rakennettavuuden arvioinnin suorittamiseksi. Tunnetuin menetelmä, jolla voidaan arvioida suunnitelmien rakennettavuutta, on Singaporessa kehitetty BDAS-menetelmä, joka on toistaiseksi ainoa menetelmä, joka perustuu lakiin ja on järjestelmällisessä käytössä [2, s. 22]. BDAS-menetelmän lisäksi Singaporessa on kehitetty myös koko rakennusprojektin rakennettavuuden arviointimenetelmä, CAS, joka määrittää myös paikallisessa rakennuslaissa. Hongkongissa on kehitelty äskettäin myös arviointimalli (Lam, Wong, Chan, Shea & Lau, 2012), jonka avulla suunnitteluryhmä voi arvioida suunnitelmiensa rakennettavuutta jo luonnossuunnitteluvaiheessa.

Erilaisten arviointimenetelmien soveltuvuutta Suomen rakennusteollisuuden käyttöön on tarkasteltava kriittisesti. Seuraavissa luvuissa esitellään edellä mainittujen arviointimenetelmien laskentaperiaatteita.

2.3.1 BDAS & CAS

BDAS-menetelmän on kehittänyt Singaporen rakennusviranomainen, BCA, joka julkaisi arviointimenetelmän osana rakennettavuuden säännöstöä (Code of Practice on Buildability, 2011). Samassa säännöstössä on esitelty CAS-menetelmä ja sen laskentaperiaatteet.

BDAS-menetelmässä suunnitelmat pisteytetään tiettyjen kriteerien mukaan ja maksimipistemäärä on 100 pistettä. Laskentamenetelmällä saavutettu korkea pistemäärä viittaa korkeaan tuottavuuteen. Menetelmän tavoitteena on tuottaa rakennettavuudeltaan hyviä suunnitelmia erityyppisiin rakennuksiin ilman, että rakennuksien arkkitehtuurista suunnittelua tai variaatiota rajoitetaan. Menetelmällä pyritään myös vähentämään työmaalla työskentelevien henkilöiden määrää ja lisäämään työmaan tuottavuutta. [5, s. 15; 2, s. 22.]

Meron mukaan BDAS-menetelmän soveltaminen Suomen olosuhteisiin on mahdollista, koska menetelmässä käytetyt laskentatermit eivät ole markkinoista tai rakennustyyppistä riippuvia tekijöitä [2, s. 30]. BDAS-menetelmän laskentaperiaatteita on esitelty tarkemmin suomenkielellä Meron ja Laakson diplomitoissa.

CAS-menetelmä kehitettiin keinoksi mitata rakentamisen menetelmien ja tekniikoiden mahdollisia vaikutuksia työmaan tuottavuuteen. Laskentamenetelmä antaa arvosanan hankkeen rakennustöistä. Korkea arvosana viittaa tehokkaiden työmenetelmien ja teknologioiden käyttöön ja näin ollen parempaan työmaan tuottavuuteen. [14.]

CAS-menetelmässä rakennushankkeen rakennettavuuden arvosana muodostuu kolmen osa-alueen kokonaisuudesta [14]:

- a. **Rakennejärjestelmä**, jonka pisteytys koostuu runkotöissä käytetyistä erilaisista rakennustavoista ja -teknologioista. Saavutettavissa oleva maksimipistemäärä on 60 pistettä.
- b. **Arkkitehtuuriset ja talotekniset järjestelmät**, joiden pisteytys koostuu näiden järjestelmien rakentamisessa käytetyistä erilaisista metodeista ja teknologioista. Saavutettavissa oleva maksimipistemäärä on 50 pistettä.
- c. **Hyvät tuotantokäytännöt** työmaalla lisäävät rakennettavuuspisteitä. Saavutettavissa oleva maksimipistemäärä on 10 pistettä.

Lisäksi a- ja b-osa-alueissa voi ansaita lisäpisteitä, mikäli hankkeessa hyödynnetään innovatiivisia menetelmiä, järjestelmiä, prosesseja tai koneita ja laitteita, jotka auttavat parantamaan tuottavuutta. Nämä ns. "innovaatiopisteet" arvioidaan aina tapauskohtaisesti sen mukaan, millainen vaikutus käytetyllä menetelmällä tms. on ollut työn tehokkuuteen. Laskentamenetelmässä myönnettävä maksimipistemäärä on 120 pistettä. [14.]

Rakennettavuuspisteet (CS_{tot}) lasketaan kaavan 1 mukaisesti:

$$CS_{tot} = S_A + S_B + S_C, \text{ missä } S_A, S_B \text{ ja } S_C \text{ ovat osa-alueiden a, b ja c pisteiden välisummia} \quad (1)$$

CAS-menetelmässä pisteet painottuvat rakennejärjestelmään (osa a), sillä rungon rakennusvaiheet vaativat eniten työvoimapanosta. Pisteytys keskittyy rakentajan valintoihin mm. teline- ja muottijärjestelmissä. Arkkitehtuuristen järjestelmien osiossa (osa b) pisteitä kerryttää, jos rakentaja yrittää tietoisesti vältellä ns. "märkätöitä" (wet works), kuten tasoite- ja rappaustöitä. Taloteknisissä järjestelmissä (osa c) tulisi suosia esimerkiksi valmiiksi eristettyjä putkistoja ja esivalmistettuja kanavia, hyvien rakennettavuuspisteiden saavuttamiseksi. Hyviin tuotantokäytäntöihin (osa c) laskentamenetelmässä kuuluu

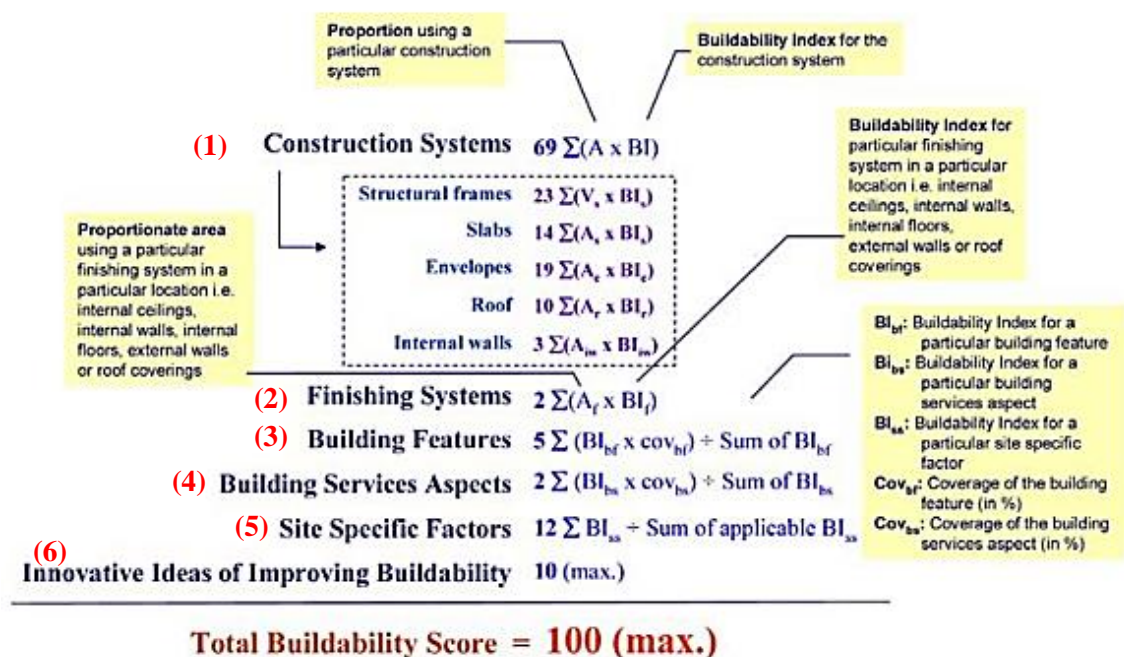
mm. tietomallinnuksen (BIM) hyödyntäminen hankkeessa ja tuottavuuden seuranta työmaalla. [14.]

Tarkemmat tiedot CAS-menetelmän eri osa-alueiden pisteiden muodostumisesta ja minimipisterajat rakennettavuudelle on esitetty BCA:n julkaisemassa rakennettavuuden säännöstössä: ”Code of Practice on Buildability” (2011).

2.3.2 BAM & SDBAM

BAM-menetelmä (Buildability Assessment Model) on kehitetty Hongkongissa. Rakennettavuuden arviointimenetelmiä alettiin kehittää 2000-luvun alussa, kun Hongkongin rakennusteollisuuden arvioinnista vastaava taho havaitsi, että suunnitelmien rakennettavuutta on parannettava tuottavuuden tehostamiseksi. [15.]

BAM-menetelmä on pääosin samankaltainen singaporelaisen BDAS-menetelmän kanssa. Suurimpana erona menetelmässä on talotekniikan ja työmaakohtaisten tekijöiden huomioiminen arvioinnissa. BAM-menetelmässä koko suunnittelua arvioidaan erilaisten järjestelmien ominaispiirteiden mukaisesti. Menetelmässä rakennettavuuden maksimipistemäärä on 100, joka koostuu kuuden eri alueen osapisteistä. Osapisteitä muodostuu: rakenne- ja viimeistelyjärjestelmistä (1 & 2), rakennuksen ominaisuuksista (3), talotekniikka- ja työmaatekijöistä (4 & 5) sekä innovatiivisista ideoista (6), jotka edistävät rakennettavuutta. BAM-menetelmä on tarkoitettu käytettäväksi ennen rakennusluvan hakemista, kun suunnittelu on lähes valmis. [15.] Menetelmän pisteiden muodostuminen on esitetty kuvassa 2.

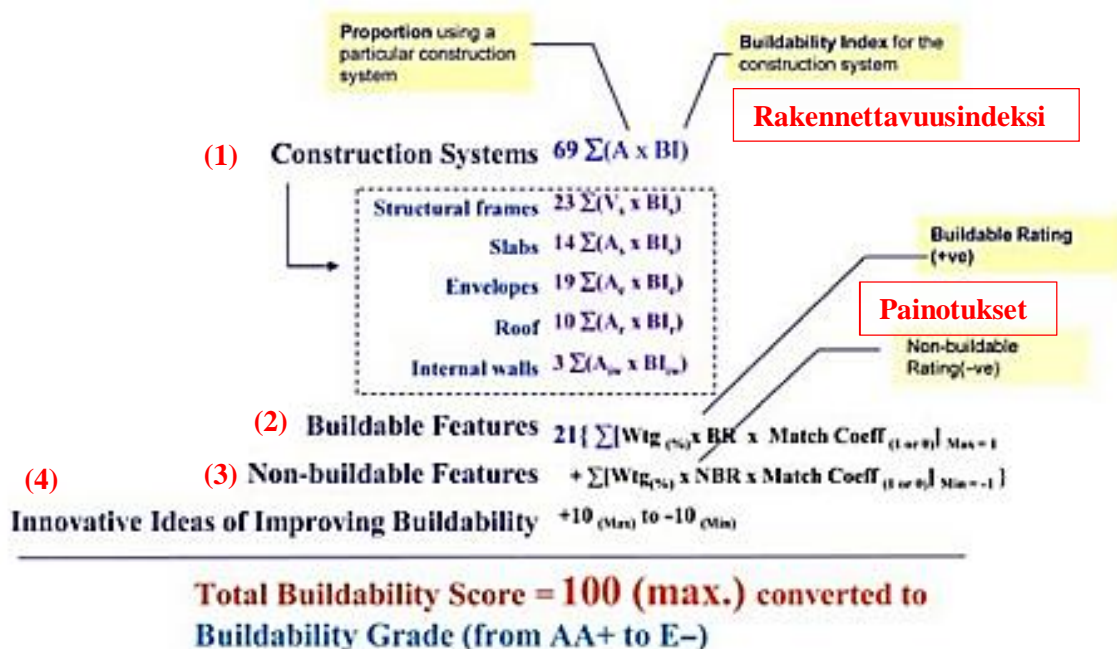


Kuva 2. Rakennettavuuspisteiden muodostuminen BAM-menetelmässä. [15.]

Vuonna 2009 Hongkongissa aloitettiin kartoitus, jonka tarkoituksena oli selvittää, missä suunnitteluvaiheessa rakennettavuutta tulisi arvioida, jotta sillä saavutettaisiin maksimaalinen hyöty. Kartoituksessa selvisi, että rakennettavuuden arviointi olisi hyvä tehdä luonnossuunnitteluvaiheessa (scheme design stage), jolloin saadut tulokset toimoisivat

suunnitteluryhmän referenssinä rakennettavuutta parantavista tekijöistä. Luonnossuunnitteluvaiheeseen sopivaa arviointityökalua (SDBAM) alettiin kehittää BAM-menetelmän pohjalta. Arviointimenetelmän tarkoituksena ei ole yksinkertaistaa toteutettavia suunnitteluratkaisuja liikaa, vaan ennemminkin auttaa suunnitteluryhmää kiinnittämään huomiota niihin avainalueisiin, joilla on mahdollista saavuttaa parempi tuottavuus. [15.]

SDBAM-menetelmässä keskitytään arvioimaan luonnossuunnitteluvaiheessa tehtäviä yleisimpiä suunnittelupäätöksiä. Yleisimmät suunnittelupäätökset on koottu hongkongilaisten arkkitehtien haastatteluiden ja rakennusurakoitsijoille tehdyn kyselytutkimuksen perusteella. Arviointimenetelmässä suunnittelupäätöksiin liittyvät tekijät jaotellaan rakennettavuuteen positiivisesti ja negatiivisesti vaikuttaviin ominaisuuksiin. Ominaisuudet kerryttävät siten joko plus- tai miinus pisteitä, jotka lasketaan yhteen muiden osioiden rakennettavuuspisteiden kanssa. SDBAM-menetelmän kulku on esitelty kuvassa 3. [15.]



Kuva 3. SDBAM-menetelmän kulku. [15.]

Arviointimenetelmässä rakennejärjestelmän (1) rakennettavuuspisteet muodostuvat rakennusrungosta, laattatyyppistä, ulkoseinistä, kattotyyppistä ja väliseinistä kertyvistä osapisteistä. Osapisteet muodostuvat käytettyjen rakennusmenetelmien ja niille määritettyjen rakennettavuusindeksien tulojen summana. Rakennejärjestelmistä saatavat maksimipisteet ovat 69 pistettä. Rakennettavuuteen positiivisesti (2) tai negatiivisesti (3) vaikuttavat ominaisuudet lasketaan yhteen tietyin painotuksin ja niistä saavutettava maksimipistemäärä on 21 pistettä. Rakennettavuutta edistävien innovaatioiden (4) käytöstä voi saada maksimissaan kymmenen pistettä, mutta jos innovaatiot vaikeuttavat rakennettavuuden toteuttamista ne pisteytetään miinus pisteillä. Miinus pisteitä voi saada tästä osiosta tällöin enintään kymmenen pistettä. Rakennettavuuden arvosana muunnetaan kokonaispistemäärän perusteella. Maksimipistemäärä on 100 pistettä, joka vastaa rakennettavuuden arvosanaa AA+. Huonoin arvosana on E-, joka vastaa rakennettavuuspisteitä välillä 1-5. [15.] Arviointimenetelmän perusteet ja tarkemmat tiedot rakennettavuusindekseistä ja -ominaisuuksien painotuksista on esitelty artikkelissa: "A Scheme

Design Buildability Assessment Model for Building Projects” (Lam, Wong, Chan, Shea & Lau, 2012).

SDBAM-menetelmä on kehitetty yksinomaan Kiinan rakennusteollisuuden tarpeisiin, joten sen soveltuvuus Suomen olosuhteisiin on kyseenalainen. SDBAM-menetelmässä käytetyt luonnossuunnitteluvaiheen suunnittelupäätökset edustavat yleisimmin Hongkongiin rakennettavien korkeiden rakennusten yhteydessä ilmeneviä päätöksiä, eivätkä ne välttämättä kata ikonisia tai erikoisrakennuksia, kuten konserttisaleja, lentokenttiä tai urheiluhalleja [15].

3 Tietomallinnuksen hyödyntäminen rakennettavuuden arvioinnissa

3.1 Tietomallin käyttömahdollisuudet rakennettavuuden arviointityökaluna

Tietomallinnuksen on osoitettu tuovan monia etuja rakennusprojektien toteuttamiselle. BIM:n käyttö on johtanut rakennusalaan parempaan tuottavuuteen ja ajankäytön hallintaan, kustannussäästöihin sekä parempiin asiakassuhteisiin. BIM on auttanut tekemään myös yhä monimutkaisempien rakennuskokoonpanojen ja osakokoonpanojen valmistuksesta taloudellisesti ja teknisesti toteutettavaa. [16.]

Tietomallinnuksen avulla saavutetuilla eduilla on siis paljon yhteistä rakennettavuuteen vaikuttavien tekijöiden kanssa. Teoksessa ”Construction Management: New Directions” (McGeorge & Zou, 2013) BIM nähdäänkin yhtenä apuvälineenä toteuttaa hyvää rakennettavuutta. Teoksen mukaan avain rakennettavuuden toteuttamiselle on projektiosapuolien välinen tehokas kommunikointi, jota tietomallintaminen edistää. [17, s. 264.]

Tietomallin käyttömahdollisuudet rakennettavuuden arviointityökaluna ovat hyvät, sillä tietomallista voidaan arvioida useita erilaisia rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Luvussa 2.2 listatuista yhdeksästä rakennettavuuden avaintekijästä neljä voidaan liittää tietomallinnukseen ja sen käyttömahdollisuuksiin rakennettavuuden arviointityökaluna. Nämä neljä avaintekijää ovat:

1. Suunnitteluratkaisuiden helppo visualisointi ja hallinta työmaalla,
2. Työmaan olosuhteiden huomiointi ja urakoitsijan mahdollisuus järjestää varastointi ja kulku työmaalle tehokkaasti,
3. Standardoinnin ja toistuvuuden mahdollistaminen,
4. Työmaan työturvallisuuden huomiointi suunnitelmissa.

Tietomallinnus edesauttaa suunnitteluratkaisuiden helppoa visualisointia sekä työmaalla että suunnittelukokouksissa. Kolmiulotteinen mallinnus mahdollistaa suunnitelmien tarkemman visualisoinnin kuin perinteiset kaksiulotteiset suunnitelmat. Tietomallinnuksesta voidaan hyödyntää suunnitelmien visualisoinnissa missä hankevaiheessa tahansa ja suunnitelmien mittatiedot ovat aina yhdenmukaiset joka näkymässä. Suunnitelmien hallinta työmaalla helpottuu, kun kaikki tarvittava tieto on digitaalisessa muodossa yhdessä tiedostossa, eikä välttämätöntä tarvetta paperidokumenteille enää ole. [18, s. 21.]

Tietomallinnus mahdollistaa 4D-suunnittelun avulla yksityiskohtaisen tuotannonsuunnittelun. 4D-suunnittelulla tarkoitetaan suunnittelua, jossa 3D-suunnitteluun otetaan mukaan neljäs ulottuvuus: aika. Tietomallinnuksen avulla voidaan simuloida rakennusprosessia ja katsoa, miltä rakennus ja työmaa näyttävät tietyllä ajan hetkellä. Rakentamisen simulointi paljastaa perinteistä suunnittelua helpommin rakentamisen potentiaaliset ongelmakohdat jo ennen kuin toteuttaminen on aloitettu. Rakentamisen aikataulun liittäminen tietomalliin auttaa myös huomioimaan työmaan logistiikkaa huomattavasti paremmin kuin perinteiset suunnittelumenetelmät. [18, s. 24.]

Tietomallien hyödyntämistä työmaan turvallisuussuunnitteluun on alettu vasta tutkia Suomessa ja kehityshankkeita tällä alueella on ollut vasta muutamia. Tietomallipohjais-

ta alue- ja turvallisuussuunnittelua pidetään kuitenkin lähitulevaisuuden keinona edistää rakennusalan turvallisuutta. Tietomallipohjaista aluesuunnitelmaa voidaan käyttää mm. turvallisuussuunnittelun ja työmaa-alueen käytön tukena, riskien arvioinnissa sekä vaaroista tiedottamisessa. Työmaan työturvallisuutta voidaan huomioida tietomallipohjaisessa suunnittelussa erityisillä turvallisuuskomponenteilla, kuten putoamissuoja- tai elementtien nostotarvikekomponenteilla. [19, s. 28, 30-31.]

Listan kolmatta rakennettavuuden avaintekijää ei voida suoraan yhdistää tietomallinnuksen toteuttamiseen. Tietomallintaminen sinänsä ei mahdollista rakentamisen standardointia tai toistuvuutta. Tietomallista voidaan kuitenkin arvioida näitä asioita sekä visuaalisesti että määrällisesti. Luvussa 3.4 on esitelty esimerkkimenetelmä tietomallin hyödyntämisestä rakennettavuuden määrällisessä arvioinnissa.

Rakennettavuuden arvioinnin kannalta tietomalli on hyvä apuväline. Koska tietomallin tulisi sisältää parhaimmillaan kaikki tarvittava informaatio rakennusprojektin toteuttamiseksi, mallista pitäisi pystyä antamaan myös uskottava arvio rakennuksen rakennettavuudesta. Teoksessa ”Construction Management: New Directions” (McGeorge & Zou, 2013) mainitaan, kuinka erään arvion mukaan 90 % rakennusten suunnitteluvirheistä johtuu olemassa olevan tiedon epäonnistuneesta soveltamisesta. Näin ollen ilman kunnollisia tiedonhallinnan välineitä ja selkeää käsitteellistä mallia, jonka mukaan toimia, on epätodennäköistä, että rakennettavuuden lähestymistapaa voidaan koskaan kunnolla hyödyntää. [17, s. 265.] Tietomallien tiedonhallintaa ja käyttömahdollisuuksia rakennettavuuden arviointityökaluina tulisi tästä syystä edelleen tutkia.

3.2 Tietomallinnuksen laadunvarmistus

Jotta tietomalleja voitaisiin hyödyntää rakennettavuuden arvioinnissa, tulee tietomallien olla laadukkaita ja virheettömiä. Suunnitelmien laatu ja rakennuksen hyvä rakennettavuus liittyvätkin kiinteästi toisiinsa. Yleiset tietomallivaatimukset 2012 määrittelevät tietomallien laadun parantamisen näin [20]:

”Tietomallipohjaisten suunnitelmien laadun parantaminen on suunnittelijoiden ja tilaajan yhteistyötä, jonka tarkoituksena on parantaa suunnitelmien tasoa, niiden vastaavuutta tilaajan tarpeisiin, parantaa rakentamisen aikataulun ja kustannusten ennustettavuutta, helpottaa rakentamisvaihetta, vähentää työmaan aikana tapahtuvaa muutossuunnittelua ja muutostöitä sekä saada lopputuloksena toimiva ja tavoitteiden mukainen laadukas rakennus.”

Laadun parantamisen lopullinen tavoite, tavoitteiden mukainen laadukas rakennus, on yhteinen rakennettavuuden (buildability) tavoitteiden kanssa. Tietomallien laadun parantamista voitaisiinkin näin ollen pitää yhtenä merkittävänä keinona edistää tietomallipohjaisella suunnittelulla toteutettavien hankkeiden rakennettavuutta. Laadunvarmistusta on toteutettu myös perinteisessä dokumenttipohjaisessa suunnittelussa, mutta se on ollut käytännössä hyvin työlästä ja vaatinut erityistä huolellisuutta, etenkin muutostilanteissa. Monet perinteisen suunnittelun laadunvarmistusongelmat ovat johtaneet usein tilanteisiin, jossa suunnitteluongelmat on havaittu vasta työmaalla, mikä on johtanut lisäkustannuksiin ja aikatauluviivästyksiin. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa on jo lähtökohtaisesti paremmat edellytykset laadunvarmistukseen kuin perinteisessä dokumenttipohjaisessa suunnittelussa, kun tietomalleja hyödyntämällä väärin tulkintojen mahdollisuudet pienenevät. [20.]

Tietomallien laadunvarmistamisessa käytetään kahta päämenetelmää: tarkastamista ja analyysiä. Tarkastamisella tarkoitetaan menetelmää, jossa tietomallissa olevan tiedon oikeellisuus tarkastetaan sellaisenaan vertaamalla sitä johonkin referenssitietoon. Törmäystarkastelu on esimerkki tarkastamisen menetelmästä, jossa tietomalli tai sen osa käydään ohjelmallisesti läpi ns. sääntöjen avulla. Visuaalinen tarkastus on tarkastamisen yksi muoto, jossa verrataan tietomallissa näkyviä kappaleita katsojan käsitykseen ”oikeasta”. Visuaalinen tarkastus on altis inhimillisille virheille, eikä sen avulla pysty käsittelemään kovin hyvin numerotietoja tai suurempia tietomääriä. Analyysi tuottaa tietomallista tarkastusmenetelmään verrattuna jalostetumpaa tietoa, jota on helpompi tulkita ja sitä kautta arvioida tiedon laatua ja oikeellisuutta. Laajuuslaskelma on yksi esimerkki analysoinnista. Analyysissä pyritään usein hahmottamaan kokonaisuuksia ja käsitellään rakennuksen tietoja tietystä näkökulmasta. Analyysien avulla paljastuu suuruusluokkaongelmia, joiden syyt tulee selvittää aina tapauskohtaisesti. Analyysi on yleensä järkevää tehdä vasta sitten, kun tietomallin tarkastustehtävät on ensin käyty läpi. Näin saadaan luotettavampia tuloksia. [20.]

Törmäystarkastelujen avulla vähennetään suunnitteluvirheiden määrää ja ehkäistään tilanteita, joissa suunnitteluvirheet havaitaan vasta työmaalla. Tämä edellyttää kuitenkin asianmukaiselle detaljitasolle mallinnettuja tietomalleja, jotka sisältävät tarvittavat tiedot putkituksista, ilmanvaihtokanavista, rakenneteräksistä, liitoksista ja muista komponenteista. Kunnollisen törmäystarkastelun suorittamiseksi tietomalleissa on oltava siis mahdollisimman yksityiskohtaiset tiedot eri rakennusosista ja järjestelmistä, jotta törmäystarkastelusta saataisiin mahdollisimman tarkka. [18, s. 272-273.]

Tietomallien laadunvarmistukseen voidaan käyttää monenlaisia ohjelmia: suunnitteluohjelmia, katseluohjelmia ja sääntöpohjaisia tarkastusohjelmia. Suunnitteluohjelmilla eli ohjelmilla, joilla suunnitelmat alun perin tehdään, voidaan tutkia mm. komponenttien päällekkäisyyksiä, tehdä törmäystarkasteluja ja raportoida tilojen tai rakennusosien määriä. Suunnitteluohjelmiston omien toiminnallisuuksien käyttäminen mallin tarkastamisessa ensisijaisesti onkin suositeltavaa, sillä niiden avulla löytyneiden ongelmien korjaaminen on helpointa. Katseluohjelmat helpottavat tietomallin visuaalista tarkastelua ja niiden avulla nähdään, ovatko kaikki tarvittavat rakennusosat mukana ifc-mallissa. Katseluohjelmia on olemassa sekä alkuperäistiedostojen että ifc-tiedostojen katseluun. Tietomallien varsinainen laadunvarmistus tehdään tietomallien tarkastamiseen ja analysoimiseen erikoistuneilla ohjelmistoilla. Tarkastaminen sääntöpohjaisilla tarkastusohjelmilla tapahtuu läpikäymällä tietomallivaatimusten mukaiset säännöt ohjelmiston ajamana. Näillä ohjelmilla voidaan myös yhdistellä tietomalleja ja tehdä törmäystarkasteluja. [20.] Seuraavissa luvuissa on esitelty lyhyesti yleisimmät Suomessa käytössä olevat tietomallien laadunvarmistuksen apuna käytettävät ohjelmistot.

3.2.1 Tekla BIMSight

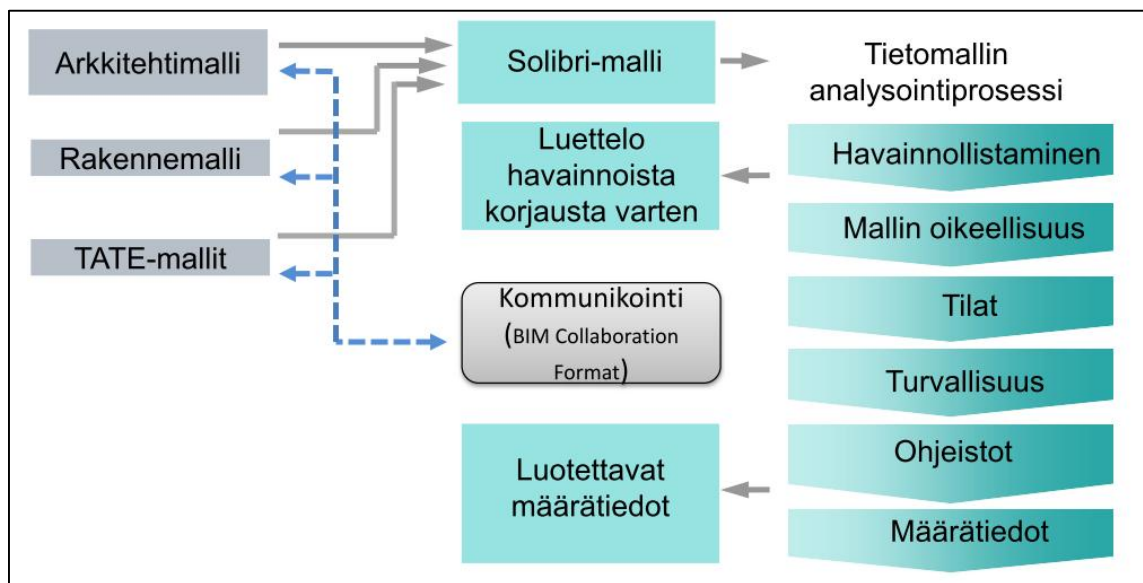
Tekla BIMSight on Tekla Oy:n kehittämä mallintarkastusohjelma, joka mahdollistaa eri suunnittelualojen mallien yhdistämisen, niiden visuaalisen tarkastelun sekä törmäystarkastelujen suorittamisen. Tekla BIMSight on kehitetty erityisesti rakennushankkeiden eri osapuolien väliseksi yhteistyön apuvälineeksi, joka helpottaa informaation jakamista hankeosapuolien välillä. Ohjelma on ilmainen ja se on suunnattu rakennustuotannon toimijoiden käyttöön. [21.]

Tekla BIMSight tukee ifc-tiedostomuotoa ja mahdollistaa myös dwg- ja xml-muotoisten tiedostojen lisäämisen tarkastelumalliin. Ohjelmalla voidaan mitata tarvittavia mittoja suoraan mallista, tehdä erilaisia leikkaustasoja ja merkintöjä sekä jakaa malleja projek-tiaspuolien kesken reaaliajassa (Tekla BIMSight version 1.8 uusi ominaisuus). [21.]

Ohjelman mallintarkastusominaisuus rajoittuu törmäystarkasteluun, jossa mallin tarkas-taja voi määritellä halutessaan komponenttien välisten törmäilyjen toleranssit. Näin ol-len mallintarkastus vastaa toiminnaltaan suunnitteluohjelmien sisäistä törmäystarkaste-lua, jossa tarkistetaan komponenttien päällekkäisyyksiä ja keskinäisiä törmäilyjä. Ra-kennettavuuden arvioinnin kannalta törmäystarkastelu on erittäin oleellista, joten Tek-laBIMSight:ia voidaan pitää yhtenä työkaluna rakennettavuuden arviointiin. Kokonais-valtaiseen rakennettavuuden arviointiin ohjelma ei kuitenkaan sovellu, sillä ohjelmasta ei voida tulostaa suoraan määrätietoja tai arvioida automatisoidusti sääntöjen pohjalta mallien oikeellisuutta.

3.2.2 Solibri Model Checker

Solibri Model Checker on suomalaisen Solibri Oy:n kehittämä BIM laadunvarmistusoh-jelma. Ohjelma on maksullinen ja se on suunnattu rakennushankkeen kaikille osapuolil-le. SMC on mallintarkastusohjelmien markkinoilla tällä hetkellä ainoa ohjelmisto, joka suorittaa sääntöpohjaista mallintarkastusta. SMC-ohjelma soveltaa sekä tarkastus- että analyysimenettelyä tietomallien laadunvarmistamiseksi. Ohjelman mahdollistama tie-tomallin analysointiprosessi on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Solibri Model Checker - mallintarkastusohjelman käyttömahdollisuudet. [22.]

Solibrin suorittama mallintarkastus perustuu sääntöihin, joista jokainen sääntö tarkastaa mallista jotakin erikseen määriteltyä seikkaa, kuten komponenttien mittoja tai ominai-suuksien arvoja. Säännöt on kerätty ohjelmassa säännöstöihin, joita on määritelty oh-jelmaan valmiiksi oletusroolien alle. Rooli sisältää suositussäännöt ja informaation talteenottokuvaukset, joiden avulla malli voidaan tarkastaa ja siitä voidaan kerätä tar-peellinen määrätieto. Käyttäjä voi myös itse määritellä uusia rooleja ja sääntöjä. [22.]

SMC-ohjelman versio 8.1 sisältää seuraavat oletusroolit: arkkitehtitarkastelut, BIM-koordinaattori, energia-analyysi, määrälaskenta, määräysten tarkastaminen, tietomallitoimituksen tarkastaminen ja yleiset tietomallivaatimukset. Roolit sisältävät tarkastussäännöstöjä sekä tietomallien esitarkastamiseen ennen varsinaista laaduntarkastusprosessia että säännöstöjä varsinaiseen laadunvarmistamiseen. Esimerkiksi määräysten tarkastaminen -rooli sisältää Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisia säännöstöjä esteettömyys- ja poistumistiereittien tarkasteluun ja energia-analyysi -rooli sisältää säännöstöjä mallin esitarkastamiseen ennen energia-analyysin suorittamista.

SMC:n oletusroolien sisältämien informaation talteenotto (ITO) -kuvausten avulla käyttäjä voi raportoida erilaisia määrätietoja, kuten rakennusosien määrää tai tilojen pintaaloja tyypeittäin. Käyttäjä voi luoda myös omia ITO-kuvauksia. ITO-raportit tulostuvat Excel-tiedostoiksi joko SMC-raporttipohjalle tai käyttäjän itse muokkaamalle raporttipohjalle. Muokattu Excel-pohja voi tarvittaessa sisältää myös kaavoja ja ITO-raportin voi tulostaa myös normaaliin Excel-tiedostoon ilman muotoiluja. [22.] Vaikka SMC mahdollistaa tietyn tyyppisten komponenttien määräluetteloiden tekemisen, ohjelmaa ei ole kuitenkaan tarkoitettu varsinaiseen määrä- ja kustannuslaskentaan. Ohjelman ITO-kuvaukset on tarkoitettu lähinnä määräluetteloiden tekoon työmaalla ja työmaan apuvälineeksi arvioida tietomallin sisältämää tietoa.

SMC-ohjelmassa kommunikointi tapahtuu ns. esitysten muodossa. Mallista löydetty kiinnostavat näkymät voidaan tallettaa esitykseksi, jota voidaan katsoa kalvoesityksen tapaan selailemalla. Kalvoihin voidaan liittää kommentteja esimerkiksi mahdollisista ongelmakohtista. Kalvo ei ole kuollut kuvakaappaus, vaan esitystä katsottaessa jokaisen kalvon kohdalta voidaan lähteä navigoimaan mallissa. Kalvoihin voidaan tehdä merkintöjä, kuten mittaviivoja ja maalattuja alueita, jotka tallentuvat myös kalvoihin. Mallin näkymistä luotu esitys tallentuu osaksi SMC-mallia. Esityksen avulla kootaan löydöt mallintarkastustuloksista ja talletetaan kiinnostavat tilannekuvat, jotta ne voidaan jakaa muiden projektiosapuolien kesken. [22.]

Luotu esitys voidaan raportoida pdf-, rtf-, xml- tai BIM Collaboration Format (BCF) -muodossa. BCF on Solibrin kehittämä avoin formaatti mallintarkastuksen yhteydessä havaittujen mielenkiintoisten kohtien ja tilanteiden näyttämiseen eri BIM-työkaluissa. BCF auttaa kommunikoinnissa yhdistämällä mallissa havaitut ongelmakohdat ja käyttäjän kommentit. Mallin GUID-tieto sekä näkymä, käyttäjän kommentit, komponentin tunnistet ja kameran sijainti siirretään toiseen BIM-työkaluun käyttäen BCF:a. BCF-tiedostoja voi luoda yksittäisistä virheilmoituksista tai kokonaisista esityksistä. BCF-formaattia tukevat tällä hetkellä Solibri Model Viewer, Tekla Structures ja Autodesk Revit. [22.]

Rakennettavuuden arvioinnin työkaluna SMC-ohjelmalla on merkittävää potentiaalia. Ohjelmassa yhdistyy rakennettavuuden arvioinnin kannalta oleelliset seikat: mallien yhteensovittaminen, törmäystarkastelut, sääntöjenmukaisuuden tarkastaminen ja informaation talteenotto. Käytännössä SMC:n avulla tehdään jo rakennettavuuden arviointia, mutta sitä ei suoriteta vielä tietoisesti. Ohjelman soveltuvuutta konkreettiseen rakennettavuuden arviointiin olisi syytä tutkia.

3.2.3 Autodesk Navisworks Manage

Autodesk Navisworks Manage (myöhemmin Navisworks) on Autodesk:n kehittämä rakennusprojektien tarkasteluohjelma. Ohjelman ominaisuuksien avulla voidaan koordinaoida ja simuloida rakentamista ja analysoida projektia integroidussa projektin tarkastelussa. Ohjelma on maksullinen. [23.]

Ohjelman avulla voidaan suorittaa eri suunnittelualojen mallien väliset törmäystarkastelut ja koordinaoida mallien tarkastusta. Navisworks eroaa edellä esitellyistä ohjelmista sen simulointi- ja analysointiominaisuuksien osalta. Ohjelma simuloi 5D-rakennusaikatauluja ja logistiikkaa. 5D-aikatauluissa on mukana myös kustannustekijät. Navisworks mahdollistaa myös erilaisten määrätietojen laskennan mallista. [23.]

Navisworks on suunnattu projektinjohton työkaluksi ja sen ominaisuudet tukevat hyvin rakennettavuuden arviointia. Ohjelman vahvuuksiin kuuluu rakentamisen aikataulun simulointimahdollisuus, jota ei aiemmin esitellyissä ohjelmissa ole. Ohjelman 5D-rakennusaikataulujen ja logistiikan simuloinnin hyödyntämistä rakennettavuuden arviointityökaluna tulisi tutkia.

3.3 Yleiset tietomallivaatimukset 2012

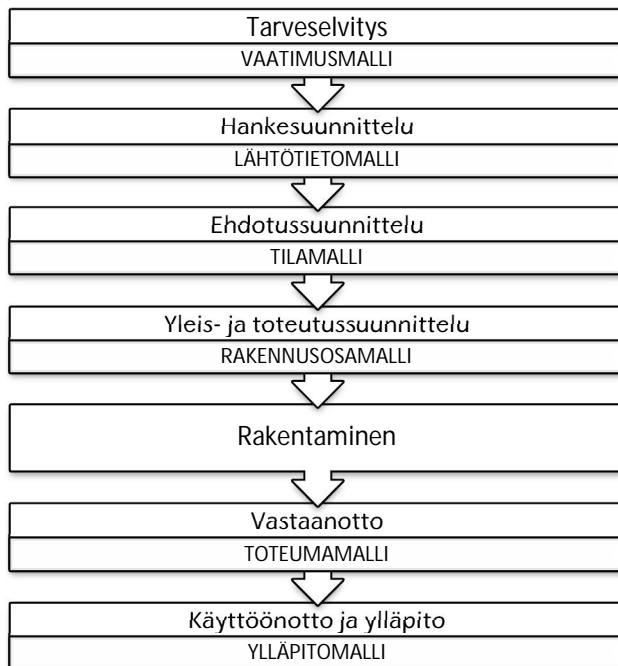
Tietomallien hyödyntäminen rakennettavuuden arvioinnissa edellyttää tietomallin hyvää laatua. Laatuun vaikuttavat rakenteiden visuaalinen tarkkuus ja mallin sisältämä informaatio. Tietomallin rakenteet on mallinnettava vaatimusten mukaisesti siten, että tietomallien tietosisältö vastaa tuotannon vaatimuksia. Näin tietomalleja pystytään hyödyntämään tehokkaammin rakennettavuuden arvioinnissa, kun mallit on tuotettu yhteisten pelisääntöjen mukaan. [2, s. 80; 5, s. 90-91.]

Tietomallien hyödyntäminen on ollut toistaiseksi Suomessa puutteellista, sillä talonrakennusosalta ovat puuttuneet yhteiset mallintamisen pelisäännöt. Tietomallien käytössä on esiintynyt ongelmia mm. rakenteiden tunnistamisessa mallista, tietosisällön laadussa ja määräluetteloiden tuottamisessa mallista [5, s. 91]. Vuonna 2012 saatiin päätökseen COBIM 2011 -projekti, jonka tarkoitus oli vastata myös edellä lueteltuihin ongelmiin luomalla rakennusosalalle yhteiset tietomallivaatimukset ja -ohjeet. Hankkeen lopputuloksena julkaistiin ”Yleiset tietomallivaatimukset 2012”.

”Yleiset tietomallivaatimukset 2012” kattavat uudis- ja korjausrakentamiskohteet sekä rakennusten käytön ja ylläpidon. Mallinnusvaatimuksissa esitetään vähimmäisvaatimukset mallinnukselle ja mallien tietosisällölle. Julkaisusarjan lähtökohtana ovat olleet tilaajaorganisaatioiden aikaisemmat ohjeet ja niistä saadut käyttökokemukset sekä ohjeiden kirjoittajien kokemus mallipohjaisesta toiminnasta. Julkaisusarja koostuu 14 osasta, joista jokaisen tietomallihankkeen osapuolen on tutustuttava kahteen: yleiseen osuuteen sekä laadunvarmistuksen periaatteisiin. Tämän lisäksi jokaisen hankkeeseen osallistujan on tutustuttava oman alansa vaatimuksiin. Projektia tai projektin tiedonhallintaa johtavan henkilön on hallittava tietomallivaatimusten periaatteet kokonaisuutena. [24.] Seuraavissa luvuissa on esitelty lyhyesti tietomallivaatimuksien osuudet arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelusta.

3.3.1 Arkkitehtisuunnittelu

Tietomallipohjaisessa suunnitteluprosessissa arkkitehdin mallinnus on pakollista kaikissa suunnittelun vaiheissa, sillä arkkitehtimalli toimii pohjana kaikille muille malleille ja on keskeinen osa myös monia analyyseja ja simulointeja. Yleiset tietomallivaatimukset määrittävät vaatimukset arkkitehtimallin tietosisällölle projektin eri vaiheissa. [25.] Rakennushankkeen eri vaiheissa tuotettavat tietomallityypit on esitetty kaaviossa 2.



Kaavio 2. Arkkitehdin tuottamat tietomallityypit rakennushankkeen eri vaiheissa. [25]

Tarveselvitysvaiheessa perustellaan tilahankinnan tarpeellisuus tai olemassa olevan tilan muutostarve, kuvataan alustavasti tarvittavat tilat ja niille asetettavat vaatimukset, tutkitaan vaihtoehtoiset käyttömahdollisuudet sekä arvioidaan eri ratkaisujen edullisuus. Vaatimusmalli toimii näiden toimintojen tukena. Vaatimusmallin minimivaatimus on taulukkomuodossa oleva tilaohjelma, jota voidaan käyttää tilaohjelman ja suunnitelma-ratkaisujen vertailussa. Vaatimusmallista saadaan suunnittelun ja kustannuslaskennan lähtötiedot. [25.]

Hankesuunnitteluvaiheessa luodaan lähtötietomalli, johon mallinnetaan joko tontti ja olemassa olevat rakennukset (korjausrakentaminen) tai pelkkä tontti (uudisrakentaminen). Olemassa olevien rakennusten lähtötietomallia kutsutaan nimellä inventointimalli. Tontin mallilla tarkoitetaan rakennuspaikan ympäristöä eli pihaa, kasvillisuutta ja liikenne- ja aluerakenteita. Mallinnuksen lähtötietoina käytetään mahdollisesti jo olemassa olevia arkkitehti- ja rakennekuvia (2D, 3D) sekä mittaustuloksia ja tontin vaaitustietoja. Hankesuunnitteluvaiheessa arkkitehdin tilamallin avulla tutkitaan eri suunnitteluvaihtoehtoja ja niiden kustannuksia tilapohjaisilla analyyseillä. Lisäksi mallilla voidaan tehdä energia- ja olosuhdesimulointeja elinkaarikustannustarkasteluiden tueksi. [25.]

Tilamalli luodaan osana ehdotussuunnittelua, mutta sitä voidaan käyttää myös osana hankesuunnittelua, kuten edellä on kuvattu. Ehdotussuunnittelussa laaditaan vaihtoehtoiset suunnitteluratkaisut asetettujen tavoitteiden täyttämiseksi. Tuloksena on valittu

ehdotussuunnitelma. Ehdotussuunnitteluvaiheessa voidaan luoda vaihtoehtoisia tilamalleja, joilla haetaan sopivinta suunnittelun perusratkaisua. Tarkoituksena on tutkia vaihtoehtoja tilojen ryhmittelystä sekä rakennuksen massoittelemasta. Tilamalli käsittää tavallisesti tilat ja niitä rajaavat seinät. Jotta tilamallia voidaan hyödyntää erilaisissa analyysissä, on seinät jaettava minimissään ulko- ja väliseiniin. [25.] Rakennettavuuden arvioinnin kannalta arkkitehdin tilamalliin olisi hyvä mallintaa myös ikkuna-alueet niin, että niiden koko on määritelty. Myös vaakarakenteiden mallintaminen karkeina tilavauskappaleina voi olla tarpeen.

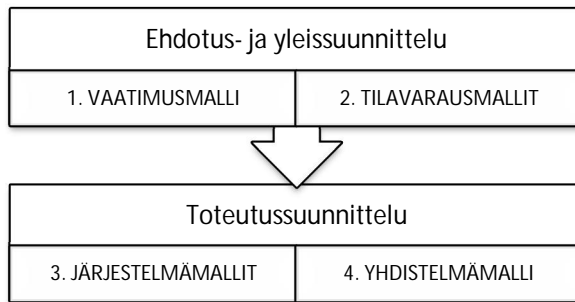
Yleissuunnitteluvaiheessa ehdotussuunnitelma kehitetään toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksi ja tilamalli jalostetaan rakennusosamalliksi. Rakennusosamallista tuotetaan rakennusluvan hakemiseen tarvittavat dokumentit (mm. pääpiirustukset). Rakennuslupadokumenttien on vastattava tarkkuustasoltaan viranomaisten vaatimuksia, vaikka mallissa ei joitain tietoja tarvitsekaan esittää. Lopullinen rakennusosamalli tehdään tyypillisesti urakkalaskenta-/työpiirustusvaiheessa. Mallissa esitetään rakenneosat todellisin rakennusselostuksen mukaisin tyyppitiedoin ja rakentamisen edellyttämien mittojen mukaisesti. [25.] Rakennettavuuden arvioinnin kannalta tietomalleissa käytettävä rakenneosien nimikkeistö on merkittävä tekijä. Yhtenäinen rakenneosien nimeäminen auttaa rakenneosien tunnistamisessa mallista ja helpottaa määräluetteloiden tekoa. Rakenneosien nimeämisessä tietomallivaatimukset eivät edellytä minkään tietyn nimikkeistön käyttöä, vaikka dokumentissa viitataan Talo 2000 -nimikkeistöön rakenneosien jaottelussa.

Arkkitehtimallin tarkkuustaso rakentamisvaiheessa sovitaan erikseen työmaan tarpeiden mukaisesti. Työmaalla arkkitehdin rakennusosamallia voidaan hyödyntää työn ohjauksessa, aikataulunhallinnassa ja määrälaskennassa. Rakennuksen valmistuttua arkkitehti päivittää rakennusosamallin vastaamaan lopullista toteutusta niin, että se vastaa lopputulosta (as-built) ja että sitä voidaan käyttää esimerkiksi tilahallinnon, kiinteistön ylläpidon ja käytönaikaisten muutosten pohjana. Ylläpitomallia käytetään huoltokirjan osana esimerkiksi vuokrattavien neliöiden tai kiinteistöhuollon hallintatyökaluna. [25.]

Tarkat arkkitehtimallin vaatimuskuvaukset rakennushankkeen eri vaiheissa on esitetty julkaisusarjan ”Yleiset tietomallivaatimukset 2012” osassa 3: Arkkitehtisuunnittelu.

3.3.2 Talotekninen suunnittelu

Suunnitteluvaiheiden TATE (talotekninen) -tietomallinnus jakautuu kahteen eri osaluokkaan: ehdotus- ja yleissuunnitteluun ja toteutussuunnitteluun. Ehdotus- ja yleissuunnitteluvaiheessa talotekninen suunnittelu on muita suunnitteluosapuolia tukevaa suunnittelua, jossa tavoitteena on tuottaa riittävät tiedot arkkitehti- ja rakennemallin tekemiseksi. Tarvittavien lähtötietojen saamiseksi suoritetaan esimerkiksi energia- ja olosuhdesimulointeja. Ehdotus- ja yleissuunnitteluvaiheessa TATE-suunnittelu keskittyy järjestelmävalintoihin, palvelualuekaavioihin sekä TATE-tilavarauksiin. Koko rakennuksen kattavat järjestelmämallit tuotetaan toteutussuunnitteluvaiheessa. [26.] TATE-suunnittelussa tuotettavien tietomallien jakautuminen kahteen eri suunnittelualueeseen on esitetty kaaviossa 3.



Kaavio 3. TATE-tietomallinnuksen suunnitteluvaiheet ja niissä toteutettavat tietomallityypit. [26]

Ehdotussuunnitteluvaiheessa tehdään vaihtoehtoisia ratkaisuja TATE-suunnittelun tehtävuottelon mukaisesti. Kaikkiin ehdotussuunnitteluvaiheen tehtäviin ei ole välttämättä tarvetta käyttää tietomallinnusta. Tietomallinnuksen laajuus sovitaan projektissa tai suunnittelutarjouspyynnössä tarkoituksenmukaiseksi. Talotekniseltä suunnittelijalta edellytetään vaatimusten määrittelyä ja ylläpitoa suunnittelutarjouspyynnön mukaisessa laajuudessa. TATE-vaatimusmalli voidaan toteuttaa joko tietomalli- tai dokumenttipohjaisena. Tietomallipohjaisessa vaatimusmallissa TATE-vaatimukset liitetään osaksi huoneobjektia. Vaatimuksia voivat olla esim. tilatyyppin maksimiäänitaso tai tilatyyppin ali-/ylipaineisuus. Tietomallipohjainen vaatimusmalli mahdollistaa näin automaattisen tiedonsiirron ja tavoitteenmukaisuuden jatkuvan seurannan. Vaatimusmallia on ylläpidettävä läpi suunnitteluprosessin ja suunnitteluvaiheiden lopussa arvioidaan, täytyvätkö tiloille asetetut tavoitearvot. [26.]

Ehdotus- ja yleissuunnitteluvaiheessa talotekninen suunnittelija varaa tekniikalle riittävät tilantarpeet sekä tarvittavat tekniset tilat huomioiden asennusten ja laitteiden vaatimat huoltoalueet ja tilantarpeet. Tietomallintamisen näkökulmasta TATE-tilavaraukset jaetaan kahteen ryhmään: tilavaraukset ja tilat sekä vaakasuuntaiset kerrosverkot. Talotekninen suunnittelija ilmoittaa arvionsa tarvittavasta tilantarpeesta ja tilojen sijoitusalueesta arkkitehdille, joka mallintaa tarvittavat tilat omaan malliinsa normaaleina teknisinä tiloina, käyttäen tilaobjekteja. Varattavia tiloja ovat mm. kuilut, hormit ja konehuoneet. Vaakasuuntaiset kerrosverkot mallintaa talotekninen suunnittelija. Mallinnuksen tietosisällölle ei aseteta tässä kohdassa vaatimuksia, sillä tarkoituksena on esittää pääreittien sijainti ainoastaan geometrian avulla. Tarkemmat verkostojen sijainnit selviävät perinteisen suunnittelumetodiikan kautta syntyvien 2D-yhteisleikkausten avulla. 2D-leikkauksissa esitetään verkostojen kannakointi sekä varmistutaan siitä, että verkostot ovat asennettavissa ja huollettavissa. 2D-leikkausten perusteella tehdään ko. alueen 3D-mallinnus. [26.]

Toteutussuunnitteluvaiheessa luodaan varsinaiset, koko rakennuksen kattavat järjestelmämallit. Järjestelmämallit luodaan erikseen jokaisesta taloteknisestä järjestelmästä: lvi, sähkö- ja telesuunnittelu ja rakennusautomaatiosuunnittelu. Järjestelmät mallinnetaan toimivina eli niin, että suunnitteluohjelmiston mahdollistamia laskenta- ja analyysitoimintoja on mahdollista käyttää. Kaikki toimivan kokonaisuuden kannalta oleelliset komponentit mallinnetaan. Komponentit mallinnetaan todellista vastaavilla objekteilla (muoviputki muoviputkiobjektilla, kupariputki kupariputkiobjektilla jne.). Kaupallisia tuotekirjastoja käytetään mallinnusohjelmistojen kattamassa laajuudessa. Kiinnitystarvikkeita ei vaadita mallinnettavaksi. Putkistojen ja kanavien eristeet mallinnetaan sovel-lusohjelmien mukaisin menetelmin, jotta malli on hyödyllinen törmäystarkastelujen ja

materiaalilistojen kannalta. [26.] Esitetyt vaatimukset ovat pääosin hyviä rakennettavuuden arvioinnin kannalta. Tarkat järjestelmäkohtaiset vaatimukset on esitetty julkaisusarjan ”Yleiset tietomallivaatimukset 2012” osassa 4: Talotekninen suunnittelu.

Yleisissä tietomallivaatimuksissa ei vaadita yhdistelmämallin toteuttamista, vaan yhdistelmämallista todetaan, että se voidaan toteuttaa tarvittaessa. Taloteknisille suunnittelijoille esitetään kuitenkin vaatimus teknisten järjestelmien yhteensovittamistarkasteluista, jotka on tehtävä kaikkien TATE-järjestelmien kesken. Tämän jälkeen esitetään vaatimus TATE-järjestelmämallien yhteensovittamisesta rakenne- ja arkkitehtimallien kanssa. Virallinen tarkastus tehdään joko suunnittelijoiden yhteistyönä tai kolmannen osapuolen tekemänä. Työnjaosta on sovittava projektin alussa erikseen. Talotekninen suunnittelija on velvollinen toimittamaan törmäystarkasteluihin vaadittavat ifc-tiedostot tarkastuksen suorittavalle osapuolelle vähintään jokaisen suunnitteluvaiheen lopussa. [26.]

Käytännössä yhdistelmämalli on tehokkain tapa suorittaa suunnitelmien yhteensovitus, minkä takia tällainen malli yleensä luodaankin. Yhdistelmämalli toimii myös hyvänä rakennettavuuden arviointityökaluna, kun samassa mallissa nähdään eri järjestelmien yhteensopivuus ja voidaan havaita toteutettavuudeltaan hankalat paikat.

3.4 Rakennusosien kvantitatiiviseen tietoon perustuva tietomallipohjainen mittausmenetelmä

Laakso on kehittänyt diplomityössään rakennettavuuden arviointiprosessissa hyödynnettävän mittausmenetelmän, joka perustuu tietomallista saatavaan kvantitatiiviseen informaatioon. [5, s. 47] Mittausmenetelmä ei ole täysin aukoton tai missään nimessä valmis arviointimenetelmä, mutta se on yksi tapa huomioida rakennettavuuteen kriittisesti vaikuttavia tekijöitä ja arvioida niiden merkitystä.

Mittausmenetelmässä arvioidaan pelkästään rakennuksen kantavaa runkoa ja sen toteuttamiseen vaikuttavia seikkoja. Menetelmä mukailee luvussa 2.3.2 esiteltyä BAM-menetelmää siten, että laskenta huomio ainoastaan käytetyn rakennejärjestelmän (construction system) vaikutuksen. Rungon tarkastelu on jaettu Laakson laskentamenetelmässä rakennusosaryhmiin ja jokaisella rakennusosaryhmällä on tietyt mittauskriteerit, joiden mukaan määritellään rakennettavuuden tunnusluku jokaiselle rakennusosalle erikseen. Rakennusosaryhmät ja niiden mittauskriteerit ovat [5, s. 48]:

1. Perustukset

- rakenteiden toistuvuus/standardointi
- perustusmenetelmien määrä
- korkeusasemien vaihtelu

2. Pilarit, palkit ja kuorirakenteet

- rakenteiden toistuvuus/standardointi
- paino
- pituus

3. Ristikot

- rakenteiden toistuvuus/standardointi
- korkeus
- pituus

4. Laattaelementit

- rakenteiden toistuvuus/standardointi
- paino
- pituus
- korkeusasemien vaihtelu
- paikallavaluosuudet
- rei'itykset

5. Seinärakenteet

- rakenteiden toistuvuus/standardointi
- paino
- pituus

6. Raudoitukset

- toistuvuus/standardointi
- esivalmistusaste
- suhteelliset teräsmäärät

7. Liitokset

- toistuvuus/standardointi

Laakson luettelemat mittauskriteerit vastaavat hyvin luvussa 2.2.2 esitellyn tutkimuksen (Fischer & Tatum, 1997) betonirakenteiden rakennettavuustekijöitä. Erityisesti rakenneosan mitat ja toistuvuus ilmenevät hyvin Laakson rakennusosakohtaisissa mittauskriteereissä.

Mittausmenetelmässä rakennetietomallista tulostetaan raportit rakennusosaryhmittäin ja niistä nähdään mittauskriteerien mukaisia tietoja, kuten elementtien painoja ja geometriatietoja. Tietomallista saadut raportit syötetään Excel-taulukoihin, jotka on määritelty laskemaan rakennusosille tunnusluvut. Tunnusluvun (C_i) maksimiarvo on 1, mikä tarkoittaa sitä, että ko. rakennusosalla on erittäin hyvä vaikutus kohteen rakennettavuudelle. Tunnusluvun minimiarvo on 0. Rakennusosien tunnuslukujen avulla voidaan määrittää perustus- ja runkorakenteiden rakennettavuuden arvosana (BS_i), joka saa arvoja välillä 0 - 100, siten että arvosana 100 on paras mahdollinen. Rakennusosien tunnusluvut ja rakennusosista muodostuva rakennettavuuden arvosana lasketaan kaavoilla 2 ja 3 [5, s. 50].

Rakennettavuuden tunnusluku rakennusosille:

$$C_i = 1 - \sum(R_i \times W_i), \text{ missä } R_i \text{ on suhdeluku ja } W_i \text{ on painokerroin} \quad (2)$$

C_i saa arvoja välillä [0, 1]

Rakennettavuuden arvosana:

$$BS_i = \sum(C_i \times W_i), \quad \text{missä } C_i \text{ on rakennusosakohtainen tunnusluku ja } W_i \text{ on vastaava painokerroin} \quad (3)$$

BS_i saa arvoja välillä [0, 100]

Rakennusosakohtaisten tunnuslukujen laskentaa varten määritetään ensin rakennusosaryhmien mittauskriteerien suhdeluvut (R_i), joiden laskenta vaihtelee hieman rakennus-

osaryhmittäin vaihtelevista mittauskriteereistä johtuen. Jotta suhdeluvut olisivat vertailukelpoisia, normitetaan ne taulukon 1 mukaisesti:

Taulukko 1. Suhdelukujen normitus. [5, s. 49.]

R_i	Vaikutus rakennettavuuteen
0	erittäin hyvä
0,25	hyvä
0,5	kohtalainen
0,75	haitallinen
1	erittäin haitallinen

Painokertoimien (W_i) määrittäminen perustuu mittauskriteerien parivertailuun, joka toteutetaan AHP-menetelmää (analyttinen hierarkiaprosessi) soveltaen. Painokertoimien määrittäminen on aina tapauskohtaista, sillä projektin tavoitteet ja painopisteet vaikuttavat siihen, miten eri tekijöitä halutaan painottaa. Yksi peruste painoarvoille voisi olla esimerkiksi rakentamisen kustannusosuudet. [5, s. 61, 92.] Painokertoimien laskentaperusteita on esitelty tarkemmin Laakson diplomityössä.

Tietomallista ei pystytä vielä nykyisillä välineillä määrittämään tätä mittausmenetelmää varten tarvittavia tietoja liitoksista tai raudoituksista. Laakso toteakin työssään, että liitoksia ja raudoituksia on tarkasteltava toistaiseksi vain visuaalisesti, sillä sopivia mittausparametreja näille kahdelle rakennusosaryhmälle ei löydetty. Esimerkiksi raudoitteista pystytään tuottamaan kyllä geometriatietoja, mutta niiden oikeellisuudesta ei voida vielä varmistua. [5, s. 60.]

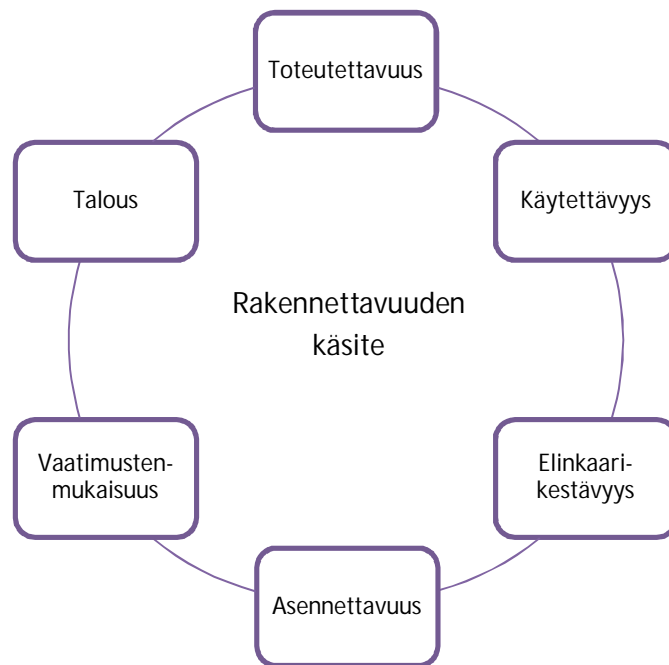
Tietomallien mallinnustarkkuus vaikuttaa suuresti siihen, miten hyvin ko. mittausmenetelmää voidaan käyttää. Menetelmä perustuu tietomallista tulostettavaan objektitietoon ja jos näissä tiedoissa on virheitä tai puutteita, kuten objektit on nimetty väärin tai niiden materiaaleja ei ole määritelty, ei mittauksesta ole juuri hyötyä. Mittaustulosten luotettavuutta heikentää myös se, ettei rakennettavuutta huonontavia tekijöitä, kuten reikiä ja paikallavaluosuuksia, pystytä mallinnustavoista ja teknisistä syistä johtuen huomioimaan riittävästi. [5, s. 80.] Menetelmä saattaa siis antaa joillekin rakennusosille liian hyvän rakennettavuuden tunnusluvun.

Mittauksen suorittajalla on oltava hyvät tiedot projektin suunnitteluperusteista ja -ratkaisuksista, samoin tuotannosta. Tämän vuoksi mittausmenetelmän soveltaminen projektin ja suunnitteluprosessin ulkopuoliselle henkilölle on haasteellista. Rakennettavuuden arviointi ja tietomallipohjainen mittaaminen tulisikin tapahtua suunnitteluprosessin aikana suunnittelijoiden ja urakoitsijan välisenä yhteistyönä. [5, s. 82–83]

4 Rakennettavuus arkkitehtisuunnittelussa

4.1 Rakennettavuuden käsite

Toteutettujen haastattelujen perusteella voidaan sanoa, ettei termiä rakennettavuus juurikaan tunnisteta arkkitehtien keskuudessa. Rakennettavuuden sijaan puhutaan toteutettavuudesta. Rakennettavuutta pidettiin hanke- ja tapauskohtaisena asiana, joka pystytään arvioimaan kokonaisuutena vasta hankkeen lopussa. Yhdessä haastattelussa rakennettavuuden reunaehdoiksi lueteltiin tekniikka, talous ja käytettävyys ja näiden kerrottiin määrittelevän rakennettavuutta. Haastatteluissa rakennettavuudeksi ymmärrettiin konkreettisesti sitä, että luodaan sellaiset suunnitelmat, joiden mukaan rakennus pystytään työmaalla toteuttamaan. Hyviä suunnitelmia kuvailtiin järkeviksi ja sellaisiksi, että ne on helppo toteuttaa. Rakennettavuutta pidettiin yleisesti ottaen laajana käsitteenä, johon sisältyy paljon erilaisia asioita. Kaavioon 4 on kerätty arkkitehtien haastatteluissa useimmiten rakennettavuuteen liitettyjä käsitteitä.



Kaavio 4. Arkkitehtien haastatteluissa rakennettavuuteen liitettyjä käsitteitä.

Haastatteluissa asennettavuus liitettiin kiinteästi rakennettavuuteen. Valmisosilla rakennettaessa osien on oltava yhteensopivia ja oikealla tavalla valittuja. Yhdessä haastattelussa otettiin esille, kuinka suunnitelmat pitäisi pystyä tekemään arkkitehdin ammattitaidolla niin, että suunnitellut ratkaisut pystytään toteuttamaan työmaalla suoraan suunnitelmien mukaisesti, ilman että asentaja joutuu huomauttamaan esim. virheellisestä detaljista. Arkkitehdin ammattitaitoa painotettiin myös muissa haastatteluissa. Pätevällä arkkitehdillä tulisi olla kokemusta myös rakentamisesta ja haastattelujen perusteella arkkitehtikoulutukseen tulisi lisätä työmaaharjoittelua. Eräässä haastattelussa todettiin, kuinka arkkitehtikoulutuksessa on ennen korostettu toiminnallisuutta, turvallisuutta, kauneutta ja rakentamisen helppoutta. Toisessa haastattelussa keskusteltiin siitä, kuinka arkkitehdillä on oltava elävä mielenkiinto muiden suunnittelijoiden ongelmanratkaisuun ja myös teknisiin ratkaisuihin, jotta kokonaissuunnittelussa pääsee syvemmälle tasolle.

Arkkitehdin ammattitaito ja mielenkiinto vaikuttavat siis siihen, kuinka hyvin asennettavuus huomioidaan suunnitelmissa.

Asennettavuuden yhteydessä puhuttiin myös mittatoleranssien merkityksestä. Yhdessä haastattelussa keskusteltiin siitä, kuinka tietokoneavusteisessa suunnittelussa tehdään millintarkkaa työtä, mutta vasta työmaalla havaitaan, että myös toleranssit ovat olemassa. Mittatoleranssien huomioiminen korostuu erityisesti korjaussuunnittelussa, mutta myös uudissuunnittelussa toleranssit on muistettava asennettavuuden varmistamiseksi. Valmisosarakentamisessa mittatoleranssien merkitystä pidettiin kuitenkin vähäisempänä.

Haastatteluissa korostui käytettävyyden ja käyttäjän huomioiminen suunnittelussa. Eräässä haastattelussa todettiin, että kun rakennettavuus palvelee oikeasti rakennuksen käyttäjää, sekä inhimillisesti että kulttuurisesti, niin silloin tehdään hyviä ja kestäviä rakennuksia mahdollisimman järkevällä ja taloudellisesti tehokkaalla tavalla. Lähtökohdana koko rakennettavuus-käsitteessä pitäisi olla rakennuksen käyttö, eikä niinkään rakennuksen rakentaminen. Yhdessä haastattelussa todettiin, kuinka rakentamisen toimialaa pidetään helposti sellaisena toimialana, jota suunnittelijat ja käyttäjät palvelevat. Rakennuksen elinkaarenaikaisen käytön tulisi kuitenkin olla se, jota sekä rakentaminen että suunnittelu palvelevat. Myös suojellut rakennukset mainittiin käytettävyyden yhteydessä. Suojelluissa rakennuksissa nimittäin yhdistyy se, että niitä on voitu käyttää ja niistä on tullut arvostettuja. Toisaalta mainittiin myös, että suojelu voidaan kokea haitaksi, jos tiloissa ei voida tehdä haluttuja muutoksia. Esimerkkinä mainittiin Alvar Aallon suunnittelemat rakennukset, joissa Jyväskylän yliopisto toimii.

Myös vaatimustenmukaisuus oli teema, joka erottui selkeästi haastateltavien vastauksista. Eräässä haastattelussa todettiin, että vaatimustenmukainen rakentaminen onnistuu, jos rakennettavuus on hyvä. Vaatimuksia asettavina tekijöinä mainittiin rakennuslaki, rakenteet, tilaohjelma, talotekniikka ja tilaaja. Rakennuslain asettamien turvallisuus- ja terveellisyysvaatimusten lisäksi esille tuotiin vaatimus rakennuksen esteettisyydelle, josta pääsuunnittelija on vastuussa. Yhdessä haastattelussa mainittiin, että rakennuttajapuolelta tulevat vaatimukset ovat joskus melko vaativia. Silloin joudutaan miettimään, kannattaisiko joku asia tehdä vähän kevyemmin. Kaikissa haastatteluissa korostui ajatus, jossa lopputulosta pidettiin rakennettavuutta merkittävämpänä tekijänä. Eräässä haastattelussa todettiin, että rakennettavuus voi olla tapauksesta riippuen helppoa tai vaativampaa, mutta oleellista on, että lopputulos vastaa sitä, mihin on pyritty.

Haastatteluissa korostui selkeästi myös talouden merkitys rakennettavuuteen. Hyvään rakennettavuuteen nimettiin suunnitelmien laatiminen siten, että niistä voidaan määrittää oikea hinta hankkeelle. Talous määriteltiin myös yhdeksi reunaehdoksi rakennettavuudelle. Hankkeeseen tehtyjen investointien suuruutta pidettiin tärkeimpänä tekijänä sille, kuinka monimutkaisia ratkaisuja voidaan lähteä toteuttamaan. Yhdessä haastattelussa todettiin, kuinka hinta on hyvin usein tekijä, joka määrittelee rakennettavuutta. Rakennuksen hinta kertyy usein teknisistä ja erityisesti detaljitason ratkaisuksista. Kokee neet rakentajat ja suunnittelijat tunnistavat ongelmapaikat jo ennakolta ja arkkitehti käy keskustelua heidän kanssaan, sovelletaanko kalliimpaa vai edullisempaa ratkaisua. Yhdessä haastattelussa todettiin, että on arkkitehtuurin ja kaikkien edun mukaista, että luodaan alusta alkaen sellaisia konsepteja, jotka mahtuvat annettuun kustannusraamiin. Eräässä haastattelussa mainittiin, kuinka yhteiskunnan tukeman asuntotuotannon pitäisi johtaa hyvin yksinkertaiseen toteutusmahdollisuuteen, kun taas julkisissa rakennuksissa tilanne on toinen. Useassa haastattelussa otettiin puheeksi, kuinka maailmalla on toteu-

tettu hyvin monimuotoisia ja haastavia rakennuksia, koska siellä on ollut sekä tahtoa että rahaa toteuttaa tällaisia hankkeita.

Rakennettavuuden käsitteeseen liitettiin myös elinkaariajattelua. Yhdessä haastattelussa keskusteltiin arkkitehdin tehtävästä huolehtia elinkaarikestävyydestä ja muuntojoustavuudesta. Arkkitehdin olisi tiedettävä rakennuksen elinkaaresta ja sen huollettavuudesta. Rakennuksen elinkaarta halutaan ylläpitää hyvillä materiaaleilla ja arkkitehdin olisi huolehdittava myös siitä, että rakennusaikaiset muutokset suunnitelmiin tehdään niin, että riittävä muuntojoustavuus säilyy. Eräässä haastattelussa keskusteltiin siitä, kuinka arkkitehtuurin täytyy palvella rakennukselle suunniteltua toimintaa ja kuinka rakennuksen on oltava kestävä myös toiminnallisesti. Rakennettavuus yhdistettiin rakennuksen elinkaareen myös sen vuoksi, että rakennettavuuden laatu, oliko rakennus helposti vai hankalasti rakennettava, paljastuu vasta jälkeenpäin.

Rakennuksen muotoa pidettiin erityisenä haasteena rakennettavuudelle uudisrakentamisessa. Muoto ja sen toteuttamismahdollisuudet asettavat usein reunaehdot rakennuksen runkovaihtoehtoille ja sitä kautta myös rakennushankkeen kustannuksille. Rakennuksen muoto valikoituu tontin ja sen ympäristön asettamien ehtojen mukaisesti. Haastattelussa kävi ilmi, että yleensä rakennuksen hankalan muodon taustalla on ahdas ja pieni tontti. Yhdessä haastattelussa mainittiin, kuinka rakennuksen vaipan laajuus ja monimuotoisuus liittyvät rakennettavuuteen, sillä yksinkertaisempia muotoja ja minimalistista arkkitehtuuria on helpompi ja selkeämpi rakentaa. Minimalistisen arkkitehtuurin todettiin myös olevan energiatehokasta. Toisena merkittävänä rakennettavuuden haasteena pidettiin uusien asioiden tekemistä tai totutusta toiminnasta poikkeamista. Kaikissa haastatelussa todettiin, että kun tehdään täysin uudenlaista projektia tai tehdään jotain projektia hieman erilailla kuin ennen, rakennettavuudessa on odotettavissa ongelmia.

4.2 Rakennettavuuden arviointi

Rakennettavuuden arviointia ei tehdä tällä hetkellä arkkitehtitoimistoissa kovin tietoisesti. Arviointi perustuu arkkitehdin ammattitaitoon ja kokemukseen. Arkkitehti arvioi rakennettavuutta tarkastelemalla, toteutuuko suunnitelmissa tilaohjelma ja talotekniikan vaatimat tilavaraukset. Aikaisemmin arviointi on tapahtunut puhtaasti arkkitehdin ajatustyönä, mutta nykyään arvioinnin apuna käytetään yhä enemmän tietomallinnusta.

Rakennettavuutta tulisi kaikkien haastattelujen perusteella arvioida läpi koko rakennusprojektiin, erityisesti projektin alussa. Hanke- ja luonnossuunnitteluvaiheessa rakennettavuutta arvioidaan mm. rakennuksen vaipan monimuotoisuuden mukaan. Toteutus- ja suunnitteluvaiheessa arviointityö koskee rakennuksen yksityiskohtia ja niiden rakentamista. Näin ollen rakennettavuutta arvioidaan läpi koko projektin, mutta hieman eri mittakaavoissa. Yhdessä haastattelussa todettiin, ettei rakennettavuuden arviointia saisi unohtaa myöskään muutossuunnitteluvaiheessa. Samassa haastattelussa todettiin myös, että hankemuodolla on vaikutusta siihen, milloin arviointi tapahtuu.

Haastattelujen perusteella arkkitehti arvioi rakennettavuutta harvoin yksin. Arvioinnin kerrottiin tapahtuvan yhteistyössä muiden suunnittelijoiden ja rakentajan kanssa. Arviointia tehdään kantavien rakenteiden osalta rakennesuunnittelijan kanssa ja täydentävien rakennusosien osalta mm. rakennusosavalmistajien kanssa. Esimerkiksi rakennesuunnittelijan kanssa voidaan arvioida rakennusosien kiinnityksiä tai liittymiä ja niiden toteutettavuutta. Eräässä haastattelussa todettiin myös suoraan, että rakennesuunnittelijan

täytyy pystyä ottamaan vastuu liittymien kestävydestä, toimivuudesta ja niiden toteuttavuudesta. Rakennuttajakonsultin ja pääsuunnittelijan yhteistyötä pidettiin avainasemassa rakennettavuuden arvioinnin toteutumisessa. Rakennusurakoitsijan kanssa toivottiin tiiviimpää yhteistyötä heti hankkeen alusta lähtien. Myös yhteistyötä rakennusosavalmistajien kanssa pidettiin tärkeänä ja yhdessä haastattelussa todettiin, että tällaista yhteistyötä pitäisi harjoittaa jo koulutusvaiheessa. Muutossuunnitteluvaiheessa arviointi tulisi tapahtua yhdessä suunnittelutiimin ja rakentajan kanssa. Myös tilaaja, käyttäjä ja viranomaiset mainittiin arvioinnin eri osapuolina. Eräässä haastattelussa kerrottiin, että viranomaiset arvioivat hankkeen toteutettavuutta lupa- ja kaavoituskäytäntöjen näkökulmasta. Toisessa haastattelussa keskusteltiin siitä, kuinka tilaaja on joissain projekteissa olennainen vastuunottaja, vaikka aina tilaaja ei ymmärräkään täysin, miten toimia. Jos tilaaja on tehnyt monta samantyyppistä kohdetta peräkkäin, voivat toimintaperiaatteet olla tuttuja.

Haastattelujen perusteella ainoa järkevä tapa arvioida rakennettavuutta tällä hetkellä on yhdistelmätiemalli. Yhdistelmämalliin tuodaan arkkitehdin, rakennesuunnittelijan ja taloteknisen suunnittelijan tietomallit ja tarkistetaan, mahtuvatko kaikki osat siten, miten ne on suunniteltu. Yhdessä haastattelussa annettiin esimerkki yhdistelmämallin käytöstä: arkkitehdin tilaohjelman ja rakennemallin yhdistämisen jälkeen arkkitehti havaitsi, että tietyt pilarit eivät voi olla juuri niillä paikoilla, johon ne oli suunniteltu, vaan tälle alueelle jouduttiin miettimään toisenlainen rakenneratkaisu. Myös talotekniikkamallin tärkeyttä rakennettavuuden arvioinnille korostettiin. Talotekniikka- ja arkkitehtimallin yhdistämistä pidettiin erityisen tärkeänä kohteissa, joissa talotekniikka on isossa osassa, esim. toimistotaloissa. Arkkitehti- ja talotekniikkayhdistelmämallista tarkastellaan talotekniikan törmäyksiä ja tilaohjelman toteutumista. Rakennuksen tilat tulisi haastattelujen mukaan organisoida siten, että tilaohjelmalle asetetut vaatimukset täyttyvät ja kaikki rakenteet sekä talotekniset järjestelmät mahtuvat niille varattuihin tiloihin. Eräässä haastattelussa kerrottiin, kuinka tämän hetkessä suunnittelussa hiertää nimenomaan se, että talotekniikan tilavarauksia on hyvin vaikea saada suunnitelmiin alkuvaiheessa. Erityisesti ilmanvaihtoa ja kaukolämpöä pidettiin ongelmallisina.

4.3 Rakennettavuuden toteuttaminen ja edistäminen

Arkkitehti toteuttaa haastattelujen perusteella rakennettavuutta työssään siten, että hän hakee rakennukselle sellaisen muodon ja organisoii tilat niin, että rakenteet ja talotekniikka on toteutettavissa. Perusajatus tästä syntyy arkkitehdin ja muiden suunnittelijoiden päässä ja tietomallinnus on nykypäivän työkalu, jonka avulla tämä ajatus tuodaan myös muiden tietoisuuteen. Rakennettavuuden toteuttamista pidettiin intensiivisenä yhteistyönä suunnittelijoiden välillä. Tonttia ja rakennusympäristöä pidettiin myös tekijöinä, jotka arkkitehti joutuu huomioimaan suunnitellessaan tilaohjelmaa ja rakennuksen muotoa. Yhdessä haastattelussa rakennettavuuden toteuttamisena pidettiin myös rakennusluvan hankintaa, jota kutsuttiin rakennettavuuden ensimmäiseksi vaiheeksi.

Dokumentaation oikea-aikaisuutta ja oikeellisuutta pidettiin yhtenä keinona toteuttaa rakennettavuutta. Hyvien ja tarkkojen suunnitelmien avulla rakennus pystytään rakentamaan ilman ylimääräisiä asennustöitä. Eräässä haastattelussa todettiin, että jos hankkeen loppudokumentaatio on tehty rehellisesti, niin silloin rakennus on yleensä myös hyvin rakennettu. Yleensä jos loppudokumentaatiosta puuttuu esimerkiksi jokin detalji, niin se on ilmeisesti ollut jokin hankala asia, jonka tekemisestä ei ole maksettu. Kaikissa haastatteluissa nousi esille se, kuinka dokumentaation tarkkuutta heikentää tällä hetkellä

lähtötietojen puuttuminen tai viivästyminen. Erityisesti korjausrakentamisesta keskusteltaessa lähtötietojen merkitystä korostettiin. Yhdessä haastattelussa kerrottiin, kuinka suunnitelmien mitat joudutaan aina tarkistamaan työmaalla, mikäli mittatietoja ei ole ollut saatavilla suunnitteluvaiheessa. Haastattelussa keskusteltiin siitä, kuinka tuotantokuva ei ole voinut lähteä rakennusosatoimittajalle, esimerkiksi porrastoimittajalle, ennen kuin sen mitat on tarkistettu työmaalta. Haastattelun mukaan rakennusosa on vasta mittatarkistuksen jälkeen oikeasti rakennettava ja paikanpäälle asennettavissa.

Tärkeimpinä tehtävinä rakennettavuuden edistämiseksi pidettiin yhteistyön lisäämistä eri osapuolien välillä, ammattitaidon kehittämistä ja tietomallinnuksen hyödyntämistä. Yhteistyön lisäämistä eri osapuolien välillä heti hankkeen alkuvaiheessa pidettiin tärkeimpänä tekijänä rakennettavuuden edistämiseksi. Yhdessä haastattelussa annettiin esimerkki, minkä takia urakoitsijan olisi hyvä olla mukana jo hankkeen alkuvaiheessa: hankkeessa voi tulla esimerkiksi tilanteita, että toimituksia ei mahduta tuomaan siltojen ali tai tien leveydet eivät riitä ja nämä on tiedettävä ennalta. Eräässä haastattelussa todettiin, että rakennusprojektin lähtökohdat tulisi olla yhteisesti hyväksyttyjä ja suunnittelun tulisi olla paremmin integroitua rakennettavuuden edistämiseksi. Tietomallinnuksen uskottiin edistävän rakennettavuutta, koska lähes kaikki tieto on avointa ja kenen tahansa havainnoitavissa. Sen ansiosta päätöksenteko ja vastuunottaminen jakautuvat, vaikka edelleen jonkun on oltava päävastuullinen. Tietomallinnusta pitäisi hyödyntää haastateltujen mukaan heti projektin alkuvaiheista asti ja yhteistyötä yhdistelmämallien tarkasteluissa tulisi lisätä. Tällä hetkellä eri osapuolet keskittyvät liikaa vain omaan suunnittelualueeseensa, eikä kukaan kiinnostu kokonaisuudesta. Yhdessä haastattelussa otettiin esille projektinjohtourakointi, joka voisi olla ratkaisu edellä mainittuun ongelmaan.

Rakennusosien yhteensovittamista ja yhteensopivuutta yleensä pidettiin rakennettavuutta edistävinä tekijöinä. Yhteensopivien tuotteiden lisäksi lähtötietojen ja tavarantoimitusten on oltava oikea-aikaisia. Yhdessä haastattelussa kerrottiin esimerkkitapaus, jossa ilmanvaihtokoneiden toimittajalla tiedettiin olevan koneiden ifc-tiedostot ja näitä pyydettiin ajoissa lvi-suunnittelijalle yhteensovituksia, ja rakennesuunnittelijalle rakenteiden kantavuuksien mitoitus varten. Tiedostoja ei kuitenkaan saatu ajoissa ja konehuoneen runko oli ehditty jo suunnitella. Koneet olivatkin hieman isompia todellisuudessa, minkä takia iv-konehuoneen katto jouduttiin toteuttamaan eri tavalla kuin oli suunniteltu.

Toimituspuolen rakennettavuusnäkemysten mukaan tuomista suunnitteluun riittävän varhain pidettiin tärkeänä. Rakennusosatoimittajilla on tyyppihyväksytyjä detaljeja, joiden avulla parannetaan asennettavuutta ja näin ollen myös rakennettavuutta. Yhdessä haastattelussa mainittiin tuotteiden CE-merkinnät ja vielä niihin liittyvien asioiden vieraus kaikille osapuolille. Tyyppihyväksytyjen tuotteiden yhteensopivuutta tyyppihyväksymättömiin tuotteisiin pidettiin epäselvänä asiana. Tyyppihyväksyntään liittyviä määräyksiä ja vaatimuksia pidettiin ristiriitaisena rakennettavuuden kanssa. Rakentamisen standardisointi mainittiin yleisellä tasolla muutamassa haastattelussa. Yhdessä haastattelussa mainittiin aina rakennettavan uniikkia kohdetta, vaikka rakentamista yrittäisiin standardisoida kuinka paljon tahansa, niin. Toisessa haastattelussa mainittiin, kuinka jonkinlaisen moduulimallin kehittäminen, jota toistettaisiin koko maan läpi, ei ole se keino, jolla tätä ympäristöä tulisi rakentaa.

4.4 Tietomallintamisen merkitys ja hyödyntäminen

Tietomallinnuksen merkitystä rakennettavuudelle pidettiin erittäin suurena kaikissa haastatteluissa. Sen sanottiin helpottavan kokonaisuuden hahmottamista ja lisäävän suunnitteluun teknistä varmuutta. Tietomallinnuksen suurimpana etuna pidettiin visualisointimahdollisuutta. Kolmiulotteisella mallilla havainnollistetaan haluttua asiaa muille, myös henkilöille, joilla ei välttämättä ole rakennuspiirustusten lukutaitoa. Tietomallinnus helpottaa mm. talotekniikan reittien löytämistä, kompleksisen hankkeen pinta-ala- ja tilavuustietojen määrittämistä sekä erikoistilanteiden tarkastelua. Rakennusakustiikan suunnittelu oli yksi annettu esimerkki erikoistilanteesta, jossa tietomallista oli suuri apu. Toinen mainittu esimerkkitapaus oli logistiikan mallintaminen suuren varastorakennuksen tietomalliin.

Tietomalleja käytetään arkkitehtitoimistoissa päivittäin ja kaikki haastatellut olivat sitä mieltä, että nykyaikaiset projektit tulisi aina toteuttaa mallintamalla. Mallintaminen tulisi aloittaa heti projektin alussa ja yhteisten toimintamallien sopimista hankkeen alkuvaiheessa pidettiin tärkeänä. Myös mallinnustarkkuuden tärkeys otettiin esille haastatteluissa. Vain hyvin tarkkaan ja oikein tuotetut tietomallit auttavat rakennettavuuden arvioinnissa ja näin ollen edistävät rakennettavuutta. Tietomalleja pidettiin oikein tuotettuina, mikäli ne noudattavat YTV 2012 -ohjeistusta tai jotain muuta yhteisesti sovittua ohjeistusta.

Haastattelujen perusteella tietomallinnuksen tulisi jäljitellä mahdollisimman hyvin rakentamista. Tietomallin katsottiin palvelevan hyvin rakennusurakoitsijan tarpeita, jos myös rakennusjärjestys on huomioitu mallissa. Toisaalta myös rakentamisen aikaisiin muutoksiin ja poikkeamiin suunnitelmista haluttiin kiinnittää huomiota. Poikkeamat olisi hyvä saada havainnollistettua kaikille osapuolille, pelkän ilmoittamisen sijasta. Muutosten dokumentointia pidettiin eräässä haastattelussa tulevaisuuden haasteena, johon tietomallinnus voisi tuoda helpotusta jatkossa.

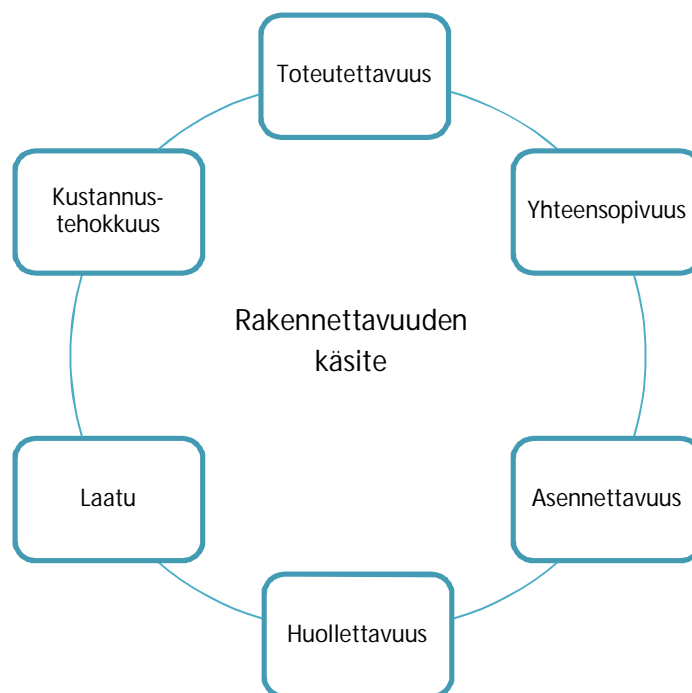
Tietomalliohjelmistoja pidettiin yksimielisesti vielä liian vaikeina työkaluina ja niiden käyttäjäystävällisyyttä haluttiin parantaa. Tällä hetkellä tietomallinnus vie arkkitehtitoimistoilta todella paljon työtunteja ja lisää näin ollen suunnittelun kustannuksia. Toisaalta haastatteluissa kävi ilmi, että suunnittelua halutaan viedä yhä enemmän sähköisempään muotoon. Mallipohjaista viestintää haluttiin lisätä erityisesti työmaan kanssa. Myös suunnittelutiimien keskinäisessä kanssakäymisessä on alettu suosia yhä enemmän sähköisiä viestintäkeinoja, kuten ns. PDF-suunnittelua, jossa kommentit suunnitelmista kirjoitetaan sähköisesti ja PDF-tiedostot lähetetään reaaliajassa sähköpostin välityksellä muille osapuolille. Siirtymistä paperittomaan tiedonvälitykseen pidettiin yhtenä merkittävänä keinona edistää rakennettavuutta, kun jokaisella osapuolella on reaaliaikaiset suunnitelmat käytettävissään.

5 Rakennettavuus talotekniikkasuunnittelussa

5.1 Rakennettavuuden käsite

Rakennettavuus ymmärrettiin haastateltujen talotekniikkasuunnittelijoiden ja alan asiantuntijoiden keskuudessa suunnitelmien toteuttamiseksi siten, että suunnitelmat ovat työmaalla toteutuskelpoisia. Rakennettavuus tarkoitti useiden haastateltujen mukaan sitä, että suunnitelmien mukaan pystytään rakentamaan. Rakennettavuutta kuvailtiin seuraavien käsitteiden avulla: asennettavuus, huollettavuus, laatu, kustannustehokkuus, toteutettavuus, toistettavuus ja yhteensopivuus.

Rakennettavuuden käsitteeseen liitettiin muutamassa haastattelussa myös termejä järkevyyys, muuntojoustavuus ja energiataloudellisuus. Suunnitelmien järkevyyttä pidettiin hyvän rakennettavuuden ominaispiirteenä, samoin muuntojoustavuutta. Muuntojoustavuus ei haastattelujen perusteella toteudu vielä niin usein kuin haluttaisiin. Haastatteluissa todettiin, että usein talotekniset järjestelmät ovat kohteeseensa räätälöityjä ratkaisuja, vaikka olisikin pyritty muuntojoustavuuteen. Esimerkkinä mainittiin sairaalarakennukset, joissa ratkaisuista harvoin saadaan muuntojoustavia, yrityksestä huolimatta. Työturvallisuutta pidettiin myös yhtenä rakennettavuuden osa-alueena. Kaaviossa 5 on esitetty haastatteluissa useimmiten esille tulleita termejä, jotka liitettiin käsitteeseen rakennettavuus.



Kaavio 5. Talotekniikkasuunnittelijoiden haastatteluissa rakennettavuuteen liitettyjä käsitteitä.

Haastattelujen perusteella hyvää rakennettavuutta talotekniikan kannalta on se, että järjestelmien asennukset voidaan tehdä työmaalla yhden kerran, nopeasti ja tehokkaasti. Hyvä rakennettavuus lähtee haastateltujen mukaan hyvistä suunnitelmista. Suunnitelmien oikeellisuus ja suunnitelmia vastaava toteutus ymmärrettiin siis hyväksi rakennettavuudeksi. Huonoksi rakennettavuudeksi ymmärrettiin mm. se, että työmaalla on vääriä osia tai väärän kokoisia tarvikkeita, joista joudutaan erikseen kasaamaan sopiva talotek-

nisen järjestelmän osa rakennukselle. Huonona rakennettavuutena pidettiin myös sitä, että urakoitsija joutuu itse tekemään suunnitelmista poikkeavia ratkaisuja sen takia, että suunnitelmia ei pystytä noudattamaan. Haastateltujen mukaan talotekniikan rakennettavuus on toteutunut hyvin, kun lopputulokseksi on saatu hyvä, huollettava, turvallinen ja asetettujen lähtötavoitteiden mukainen järjestelmä.

Rakennettavuutta pidettiin periaatetasolla järjestelmällisesti toteutettavana asiana, mutta samalla todettiin, ettei sitä toteuteta vielä kovinkaan monella taholla järjestelmällisesti. Haastatteluissa kävi ilmi, että rakennettavuuden huomioiminen suunnittelussa on hyvin vaihtelevaa suunnittelijasta riippuen. Toiset ajattelevat rakennettavuutta ja erityisesti asennettavuutta hyvinkin paljon, toiset vähemmän. Suunnittelijan ammattitaidolla ja erityisesti kokemuksella katsottiin olevan suuri merkitys siihen, kuinka hän huomioi rakennettavuutta työssään. Suunnittelijan osaaminen siis ohjaa suunnittelutyötä. Suunnittelijoiden tietämystä rakennettavuudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä olisi haastattelujen perusteella hyvä lisätä. Myös pääsuunnittelijalta vaadittavia johtamis- ja yhteistyötaitojen opetusta tulisi lisätä.

Lähes kaikissa haastatteluissa rakennettavuus rinnastettiin asennettavuuteen. Asennusjärjestyksen miettimistä suunnitteluajana pidettiin oleellisena tekijänä rakennettavuuden edistämiseksi. Toisaalta asennusjärjestyksen ennakointia pidettiin erittäin vaikeana tehtävänä etenkin suunnittelun alkuvaiheessa, kun urakoitsijaa ei vielä tiedetä. Suunnittelijan kokemus korostuu tässäkin asiassa ja nuorille suunnittelijoille asennuksen huomioiminen on usein erittäin vaikeaa. Asennettavuuden arviointiin ei ole haastattelujen perusteella tällä hetkellä olemassa mitään varsinaisia välineitä, vaan suunnitelmien asennettavuutta arvioidaan yhdessä kokeneempien suunnittelijoiden ja joskus myös urakoitsijan kanssa.

Taloteknisten järjestelmien huollettavuus koettiin osaksi rakennettavuutta lähes kaikissa haastatteluissa. Yhdessä haastattelussa huomautettiin, että rakennuksen elinkaarta ajatellen rakentaminen on vain pieni osa kokonaisuutta, sillä huoltotyöt ja käyttökustannukset kattavat noin 95 %:a rakennuksen eliniästä. Toisessa haastattelussa hyvää rakennettavuutta kuvailtiin siten, että saavutettu lopputulos on hyvä ja huollettava. Kuten asennettavuutta, myös huollettavuutta pidettiin asiana, jonka huolehtiminen on täysin suunnittelijan ammattitaidon varassa, eikä sen huomioimiseen ole olemassa mitään konkreettisia välineitä. Eräässä haastattelussa todettiin, että joitain työkaluja asennettavuuden ja huollettavuuden arviointiin olisi tulevaisuudessa järkevää kehittää.

Haastatteluissa rakennettavuudeksi ymmärrettiin myös taloteknisten järjestelmien yhteensopivuus. Talotekniikkasuunnittelijan tehtäviin kuuluu tarkastella, että erilaiset järjestelmät sopivat keskenään yhteen ja että talotekniikka sopii sekä rakenteisiin että arkkitehtuuriin. Myös erilaisten automaatiikkojen keskinäinen yhteensopivuus nostettiin esille yhtenä rakennettavuuden osana yhdessä haastattelussa. Yhteensovittamistyön kerrottiin lisääntyneen huomattavasti tietomallintamisen myötä.

Muutamassa haastattelussa rakennettavuuteen liitettiin myös kustannustehokkuuden käsite. Eräässä haastattelussa keskusteltiin siitä, kuinka suunnitelmia arvioitaessa tulisi ajatella, minkälaiset käyttökulut ja myöhemmin elinkaarikustannukset valituilla suunnitteluratkaisuilla tulee olemaan. Nykypäivän suunnittelun tulisi perustua nimenomaan kustannus- ja energiatehokkuuteen.

Talotekniikan rakennettavuuden haasteina pidettiin lähtötietojen puuttumista, vastuunottamista, yleisiä sopimusehtoja, työmäärän lisääntymistä, kireitä aikatauluja ja tekniikan lisääntymistä. Suunnittelun laatu koettiin yhdeksi rakennettavuuden osaksi ja tällä hetkellä laatuun panostamiseen ei haastattelujen perusteella ole riittävästi aikaa eikä rahaa. Tekniikan ja suunnittelun merkitys kasvaa koko ajan, eikä tätä ole haastateltujen mukaan osattu huomioida rakennuttajatahoilla. Tarvittavien lähtötietojen saamista oikeaan aikaan pidettiin ongelmallisena ja yhtenä rakennettavuuden heikentäjänä. Yhtenä tärkeimpänä syynä tähän pidettiin kireitä projektiaikatauluja.

5.2 Rakennettavuuden arviointi

Rakennettavuutta arvioidaan talotekniikan suunnittelutoimistoissa ensin toimiston sisäisesti suunnitteluryhmän kesken ja sen jälkeen yhdessä muiden suunnittelualojen kanssa. Myöhemmin suunnitelmien rakennettavuutta saatetaan arvioida myös rakennuttajan tai pääurakoitsijan kanssa. Rakennuttajasta riippuen arvioinnin apuna käytetään joko 2D-piirustuksia tai tietomalleja.

Rakennettavuuden arviointia pitäisi haastattelujen perusteella siirtää enemmän suunnitteluryhmän vastuulle. Tämä edellyttäisi kuitenkin sitä, että rakentamisen asiantuntemusta olisi enemmän mukana suunnitteluvaiheessa kuin nyt on. Esimerkkinä annettiin erillisten konsulttien käyttö, mikäli suunnitteluryhmässä ei muuten löydy riittävästi työmaatuntemusta. Tällä hetkellä pääsuunnittelijan vastuu rakennettavuuden arvioinnista korostuu, kun urakoitsijaa ei usein vielä suunnitteluvaiheessa tiedetä. Yleinen mielipide haastattelujen perusteella oli, että talotekniikan rakennettavuuden arvioinnin tulisi tapahtua ehdottomasti heti suunnittelun alkuvaiheessa, mieluiten luonnossuunnitteluvaiheessa.

Tärkeimmät yhteistyötahot talotekniikan rakennettavuuden kannalta ovat arkkitehti ja rakennesuunnittelija, sillä näiden tahojen suunnitelmat asettavat merkittävimmät reunaehdot talotekniikan suunnittelulle. Suunnittelupalavereissa arvioidaan rakennettavuutta tietyllä tasolla, mutta palaverikäytäntöihin toivottiin myös muutoksia. Haastatteluissa kävi ilmi, että suunnittelupalavereissa turhaa aikaa kuluu usein toisten syytelyyn ja vastuujakojen selvittelyyn. Yhteistyötä pitäisi yleisesti lisätä ja sitä täytyisi kehittää sujuvammaksi ja luontevammaksi.

Haastatteluissa korostui suunnittelijan merkitys talotekniikan rakennettavuuden arviointiin. Suunnittelijan kokemus oli avaintekijä rakennettavuuden arvioinnissa kaikissa haastatteluissa. Työmaakäyntejä pidettiin tärkeimpänä keinona kehittää suunnittelijan kokemusta ja ymmärrystä talotekniikan asennuksista. Eräässä haastattelussa todettiin, että suunnittelijan olisi tärkeää jatkaa työskentelyä yhteistyössä työmaan kanssa myös toteutusvaiheessa, jotta suunnittelija näkisi myös valmiin lopputuloksen. Lisäksi suunnittelijan olisi hyvä olla mukana takuutarkastuksessa, jotta mahdolliset virheet tulisivat suunnittelijan tietoisuuteen ja näistä voitaisiin oppia.

Haastatteluissa talotekniikan rakennettavuuden arviointikeinoiksi annettiin riittävien tilavarausten tarkistus, törmäystarkastelujen tekeminen sekä huollettavuuden ja asennettavuuden huomioiminen. Teknisesti näitä asioita arvioidaan yhdistelmämallin tai kaksikulotteisten piirustusten avulla. Toimistoilla voi olla myös sisäisiä tarkastuslistoja, joita läpikäymällä pyritään varmistamaan, että järjestelmien asennettavuuteen ja huollettavuuteen on kiinnitetty suunnitelmissa huomiota. Erityisesti nuorilla, kokemattomilla

suunnittelijoilla asennuksien vaatima tila ja huollettavuuden varmistaminen unohtuvat helposti.

Kustannustekijöiden mukaan ottamista suunnitelmien arviointiin pidettiin tulevaisuuden keinona arvioida rakennettavuutta. Tällä hetkellä järjestelmien kustannuksia, tulevia käyttökuluja tai edes rakentamiskustannuksia ei arvioida suoraan tietomallista. Yhdessä haastattelussa keskusteltiin tarpeesta ohjelmaan, joka tulostaisi suoraan valitun taloteknisen järjestelmän elinkaarikustannukset ja tämän perusteella voitaisiin valita sopivin suunnitteluratkaisu. Määrä- ja kustannussuunnittelua saadaan vietyä eteenpäin jo nykyisillä työkaluilla, mutta tällaista hyödynnetään melko vähän käytännössä. Määrä- ja kustannussuunnittelu vaatii kustannustietoisen ja kokeneen suunnittelijan.

5.3 Rakennettavuuden toteuttaminen ja edistäminen

Haastattelujen perusteella talotekniikan suunnittelija toteuttaa rakennettavuutta työssään omaan kokemukseensa perustuen, yhteistyössä muiden suunnittelualojen kanssa. Rakennettavuuden toteuttamisen työkaluina käytetään yhdistelmämallia, mikäli projektissa käytetään tietomallinnusta, ja perinteisiä kaksiulotteisia leikkauskuvia.

Leikkauskuvien merkitystä rakennettavuudelle pidettiin kaikissa haastatteluissa edelleen erittäin suurena. Leikkauskuvia hyödynnetään myös silloin, kun mallinnetaan. Leikkauskuvista tarkastellaan korkeusasemia, putkistojen ja kanavien reitistöjä ja niiden avulla mietitään asennusjärjestystä. Yhdessä haastattelussa keskusteltiin myös, kuinka nuoremmita suunnittelijoilta tulisi vaatia enemmän käsin piirtämisen taitoa, jotta heille muodostuisi hyvä kolmiulotteinen ajattelutapa ilman tietoteknisiä apuvälineitä.

Rakennettavuutta toteutetaan talotekniikan suunnittelussa arvioimalla eri taloteknisten järjestelmien (Ivis) keskinäistä yhteensopivuutta sekä yhteensopivuutta rakenteisiin ja arkkitehtuuriin. Talotekniikan tilantarpeiden huomioimista pidettiin yhtenä tärkeimpänä keinona toteuttaa rakennettavuutta. Ilmanvaihtoa pidettiin rakennettavuuden osalta määrävimpänä tekijänä, sillä ilmanvaihtojärjestelmät tarvitsevat suurimmat tilavaraukset ja näin ollen vaikuttavat eniten ympäristöönsä. Myös teknisten tilojen sijoittelua pidettiin tärkeänä. Tästä esimerkkinä kerrottiin, kuinka arkkitehtonisista syistä valittu konehuoneratkaisu, jossa sijoitetaan yksi iso konehuone rakennuksen keskelle, voi aiheuttaa enemmän ongelmia muille rakennusjärjestelmille kuin useamman pienemmän konehuoneen sijoittelu teknisesti oikeisiin paikkoihin.

Haastateltujen mukaan suunnittelijan on huolehdittava siitä, että taloteknisten järjestelmien tilavaraukset huomioidaan riittävän ajoissa. Suunnittelijan on osattava tehdä riittävät tilavaraukset konehuoneiden ja pääreittien osalta arkkitehdille ja rakennesuunnittelijalle heti suunnittelun alkuvaiheessa, mikä edellyttää vankkaa ammattitaitoa suunnittelijalta. Toisaalta tämä edellyttää myös sitä, että arkkitehdilta ja rakennesuunnittelijalta saadaan oikeat suunnitelmat ja lähtötiedot ajoissa. Jos tilaratkaisuihin tai rakennuksen runkoon tulee muutoksia, vaikuttavat ne merkittävästi myös talotekniikkaan. Tätä ei haastateltujen mukaan ymmärretä kovin helposti. Taloteknisessä suunnittelussa puolestaan järjestelmän toimivuus menee helposti rakennettavuuden ohi, mikä on huono asia. Urakoitsijan tuomista lähemmäksi suunnittelua pidettiin yhtenä keinona lisätä rakennettavuuden arvostusta suunnittelussa.

Taloteknisten järjestelmien esivalmistaminen ja standardisointi nostettiin esille yhtenä keinona edistää rakennettavuutta. Muualla Euroopassa tehdasvalmisteisten kokonaisuuksien käyttö on viety pidemmälle kuin Suomessa. Valmiita ilmanvaihtokonepaketteja olisi tarjolla enemmän kuin niitä tällä hetkellä käytetään ja tässä uskottiin olevan muutoksen mahdollisuus. Valmiiden ilmanvaihtokonepakettien käytön katsottiin edistävän rakennettavuutta, kun asennustyö vähenee merkittävästi, mutta sen sanottiin myös tuovan ongelmia suunnitteluun. Ongelmia tuo valmispakettien automatiikan yhteensovittaminen rakennuksen muuhun automaatiojärjestelmään. Tarvittavan datan ulossiirtämiseksi pakettikoneesta tarvitaan usein paljon erilaisia sovittimia, mikä lisää suunnittelutyötä. Valmiiden hankintapakettien suurimpana etuna pidettiin testausta: kokonaisuudet on tehtaalla valmiiksi moneen kertaan testattuja ja näin ollen niiden toimintavarmuutta pidettiin parempana kuin työmaalla testattua ja koottua järjestelmää. Valmispakettien eduksi katsottiin myös asennus- ja käyttöönottoajan lyheneminen.

Rakennettavuutta edistäviksi tekijöiksi mainittiin myös yleisen modulaarisuuden ja jo toteutettujen ratkaisuiden suosiminen. Yksi merkittävin haaste talotekniikan rakennettavuudessa on tällä hetkellä se, että lähes jokainen rakennettu järjestelmä on prototyyppi. Haastateltujen mukaan pitäisi suosia enemmän vakioratkaisuja ja pyrkiä käyttämään jo testattuja järjestelmiä, joista olisi olemassa edes takuuajan käyttökokemus. Talotekniikan integrointi nostettiin esiin yhdeksi keinoksi tuoda toistettavia vakioratkaisuja talotekniikan alalle. Esimerkiksi jäähdytyspalkkeihin voidaan integroida valaisimet yms. Talotekniikan integrointia on testattu erilaisissa pilottihankkeissa ja niiden avulla on saatu aikaan kustannussäästöjä.

Haastattelujen perusteella talotekniikan suunnittelussa pitäisi suosia sellaisia ratkaisuja, jotka ovat helposti huollettavissa. Haastatteluissa kävi ilmi, että tällä hetkellä talotekniikkaa piilotetaan liikaa rakenteisiin ja vaikeasti vaihdettaviin paikkoihin. Talotekniikan suunnittelussa perusajatuksena olisi hyvä muistaa, että rakennus on tehty 100 vuodelle, mutta esim. putket korkeintaan 50 vuodelle. Suunnitteluratkaisuiden pitäisi nykyään olla myös energiataloudellisia ja muuntojoustavia.

5.4 Tietomallintamisen merkitys ja hyödyntäminen

Haastatteluissa kävi ilmi, että vain suurimmat rakennuttajat ja rakentajat käyttävät tietomallinnusta ja tietomallien hyödyntäminen rakennettavuuden arvioinnissa on vasta tuloillaan. Talotekniikan suunnittelutoimistoilla on hyvät valmiudet mallintavaan suunnitteluun ja suurimmat pitävät mallintamista jo normaalimenettelynä, mutta usein taloteknisiltä urakoitsijoilta puuttuu resurssit mallien hyödyntämiseen. Haastattelujen perusteella tietomallintamisen hyödyntäminen on kuitenkin valtaamassa alaa ja pienempien suunnittelutoimistojen kilpailukyvyyn uskottiin heikentyvän, kun siirrytään mallintavaan suunnitteluun.

Tietomallinnusta käytetään talotekniikan suunnittelussa verkoston mallinnukseen ja laskentaan, energia- ja olosuhdesimulointeihin, laadunvalvontaan ja kommunikointiin. Haastatellut pitivät tietomallinnusta tärkeänä keinona parantaa suunnitelmien laatua, jos mallinnus tehdään hyvin ja oikealla tarkkuudella. Rakennettavuuden kannalta tärkeimpinä tekijöinä mallinnuksessa pidettiin yhdistelmämallia ja kolmiulotteisen kuvan havainnollisuutta.

Yhdistelmämalli luodaan arkkitehti-, rakenne- ja talotekniikkamallista. Haastateltujen mukaan yhdistelmämallia luodaan sekä itse, oman toimiston toimesta, että ulkopuolisia konsultteja käyttäen. Pääsuunnittelija tekee usein yhdistelmämallien törmäystarkastelut. Törmäystarkasteluja pidettiin tehokkaimpana keinona arvioida talotekniikan rakennettavuutta tietomalleista. Toisaalta todettiin myös, ettei pelkkä törmäystarkastelu kerro koko totuutta rakennettavuudesta. Suunnitelma voi olla täysin törmäilemätön ja silti huono, jos suunnitteluratkaisut ovat huonoja tai ne ovat vaikeasti asennettavissa.

Suunnitteluohjelmistojen heikkoudeksi mainittiin, että niiden toiminta ei tue nykyistä suunnitteluprosessia. Esimerkiksi iv-kanavien runkojen kokoa ei tiedetä, ennen kuin on tieto siitä, mitä tilat vaativat. Näin ollen suunnittelijalla on oltava jälleen kokemusta arvioida rungot alustavasti riittävän oikealla tarkkuudella. Tehon- ja tilantarpeita arvioidaan tällä hetkellä manuaalisesti mm. Excel-taulukoiden avulla. Haastateltujen mukaan tietomalli on hyvä työkalu, sillä siitä nähdään kriittiset asiat paljon konkreettisemmin ja nopeammin kuin perinteisistä 2D-kuvista. Suunnitelmien kommentointia suoraan mallipohjaisesti pidettiin myös hyvänä keinona tehostaa suunnittelua. Mallin eduksi todettiin myös, että kaikki osapuolet katsovat samaa kokonaisuutta ja keskustelvat suoraan mallista, eikä kynää ja paperia enää välttämättä tarvita.

Kaikissa haastatteluissa tuli esille tietomallinnuksen vaatima työmäärä. Mallintava suunnittelu vaatii vielä paljon enemmän suunnittelutyötä kuin perinteinen CAD-suunnittelu. Nykyaikaisissa rakennusprojekteissa työmäärä on siis siirtynyt toteutusvaiheesta suunnitteluvaiheeseen ja tätä ei haastattelujen perusteella ole vielä sisäistetty rakennuttajien keskuudessa. Tällä hetkellä toimitaan vielä vanhoilla prosesseilla ja suunnitelmien yhteensovittaminen on puutteellista. Mallintavaa suunnittelua ei pystytä toteuttamaan samoilla menetelmillä kuin 15 vuotta sitten. Haastateltujen mukaan nykyään vaaditaan yhä tarkempia malleja ja tämä luonnollisesti lisää suunnittelun kustannuksia. Kiinteästi hinnoitelluissa projekteissa tämä aiheuttaa suuria ongelmia suunnittelulle. Rakennuttajan on varattava riittävästi aikaa suunnittelulle ja ymmärrettävä myös, että suunnitelmien yhteensovittaminen alkaa heti suunnittelun alkuvaiheessa. Hinnoitteluun pitäisi haastattelujen perusteella tehdä muutoksia siten, että suunnittelijoilla olisi paremmat mahdollisuudet toteuttaa rakennettavuutta työssään. Suunnitteluvaiheessa kulutetun ajan uskottiin säästyvän moninkertaisesti toteutusvaiheessa.

Uusien sopimusmallien käyttöönottamista pidettiin tärkeimpänä keinona vauhdittaa tietomallipohjaisen suunnittelun yleistymistä. Esimerkkinä mainittiin tavoitehintaurakka, jota pidettiin hyvänä keinona edistää rakennettavuutta, sillä siinä suunnittelija ja toteuttaja asetetaan samalle tasolle ja näin aktivoidaan näiden kahden tahon välistä yhteistyötä. Palkkionmaksuperusteita tulisi haastattelujen perusteella myös muuttaa, jotta suunnittelijat pystyisivät huomioimaan rakennettavuutta paremmin työssään. Allianssi- ja lean-sopimusmallien uskottiin myös edistävän tietomallipohjaisen suunnittelun yleistymistä.

6 Rakennettavuuden arvioinnin toteutus esimerkki-kohteessa

6.1 Case-kohte

Rakennettavuutta ja sen arvioinnin toteutusta tarkasteltiin esimerkkikohteen avulla. Esimerkkikohteena tässä tutkimuksessa toimi asuinkerrostalohanke, joka koostui neljästä erillisestä rakennuksesta. Kohteen rakennustyöt oli aloitettu vuoden 2012 loppupuolella ja kohteen arvioitu valmistumisajankohta on elokuussa 2014.

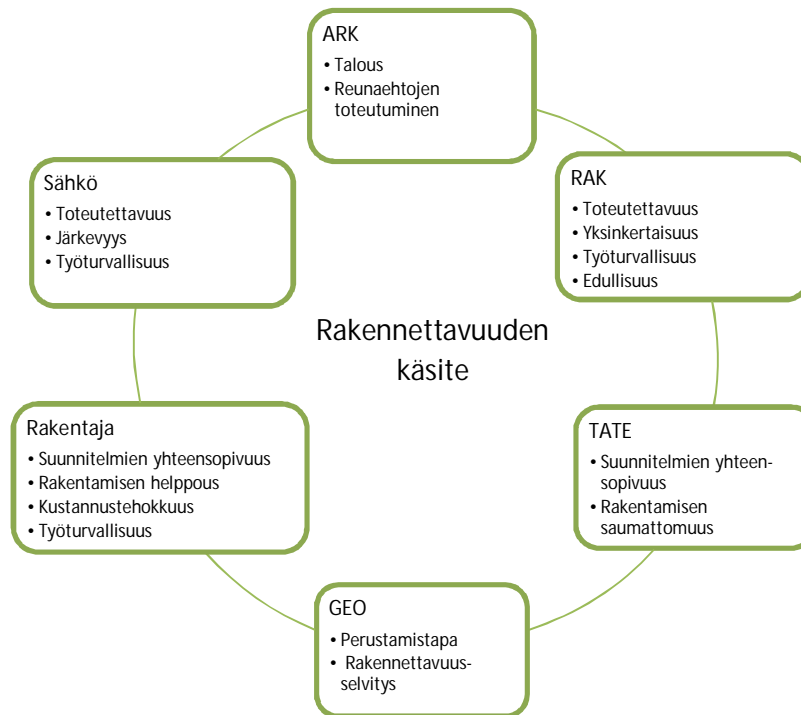
Esimerkkikohteen kaikissa neljässä rakennuksessa on kolme maanpäällistä kerrosta ja asuntoja kohteessa on yhteensä 47 kappaletta. Rakennusten alla on talojen yhteinen pysäköintihalli ja katutasossa on viisi erillistä liiketilaa. Talojen väliin jää kolme piha- aluetta, sekä yksi yleinen läpikulkutie jalankulkijoille.

Asuintalojen kantava runko koostuu paikalla valettavista betoniosista ja betonielementeistä. Rakennusten ulkoseinät toteutetaan kantavista sandwich-elementeistä. Kantavat sisäseinät ovat myös betonielementtejä. Talojen välipohjat toteutetaan paikalla valettavina massiivilaattoina. Portaot ja parvekkeet tehdään elementtirakenteisina. Pihakannet toteutetaan käännettynä rakenteena, jossa kantavana laattarakenteena toimii paikalla valettava ja jälkijännitettävä teräsbetonilaatta. Rakennukset perustetaan maanvaraisina sekä osittain paalujen varaan. Rakennustontilla on tehty osittaista massanvaihtoa. Ensimmäisessä maanpäällisessä kerroksessa osaan ulkoseinäelementeistä asennetaan graniittikiviverhous elementtitehtaalla. Muissa kerroksissa julkisivu toteutetaan ns. Parmarappauksena, jossa rappaus tehdään suoraan betoniseinään tehtaalla kiinnitetyn mineraalivillalevyn pintaan.

Kohteen suunnittelu on tehty kokonaisuudessaan tietomallintamalla, lukuun ottamatta pohjarakennussuunnittelua. Tietomalleja hyödynnetään myös työmaalla osana työsuunnittelua ja asennustöiden apuna.

6.2 Eri projektiosapuolien käsitykset rakennettavuudesta

Tutkimuksessa haastateltiin kahdeksaa henkilöä, jotka edustivat esimerkkikohteen vastuhenkilöitä suunnittelun ja toteutuksen eri osa-alueilta. Kohteen suunnittelijoista haastateltiin arkkitehtiä, rakenne-, lvi- ja sähkösuunnittelijoita, sekä rakentamisen aikaisesta pohjarakennussuunnittelusta vastannutta henkilöä. Urakoitsijaorganisaatiosta haastateltiin työmaan vastaavaa työnjohtajaa, lvi-asiantuntijaa sekä BIM-tukihenkilöä. Koska rakennettavuus on aina subjektiivinen käsite, tutkimuksessa haluttiin selvittää, miten esimerkkikohteen eri osapuolet ymmärtävät käsitteen rakennettavuus. Näin voidaan ymmärtää paremmin, minkälaisen asioiden pohjalta rakennettavuutta on arvioitu projektissa.



Kaavio 6. Eri projektiosapuolien haastatteluissa rakennettavuuteen liitettyjä käsitteitä.

Haastateltujen näkemykset rakennettavuudesta tukivat hyvin aikaisempia tutkimustuloksia. Suunnittelijoiden näkemykset rakennettavuudesta eivät poikenneet rakentajan näkemyksistä paljoakaan. Kaikki suunnittelijat painottivat sitä, kuinka tärkeää virheettömien ja yhteensopivien suunnitelmien tuottaminen on hyvän rakennettavuuden saavuttamiseksi. Suunnittelijoiden keskinäiset näkemykset rakennettavuudesta olivat yhdenmukaisimmat sähkö-, talotekniikka- ja rakennesuunnittelijalla. Kaikki kolme tahoa pitivät rakennettavuutta sellaisten suunnitelmien tekemisenä, joiden mukaan rakennus pystytään toteuttamaan.

Pohjarakennussuunnittelijan näkemykset rakennettavuudesta poikkesivat muista suunnittelijoista eniten. Pohjarakentamisessa rakennettavuus on terminä tuttu ja päivittäin käytössä. Rakennettavuuden käsite rajautuu pohjarakennussuunnittelussa ainoastaan rakennuksen ja sen ympäristön perustamistapaan. Pohjarakennussuunnittelussa puhutaan jopa rakennettavuusselvityksestä. Rakennettavuusselvitys tehdään ennen varsinaisen pohjarakennussuunnittelun aloittamista. Selvityksessä tutkitaan, millä tavalla rakennus voidaan perustaa ja miten pihat ja putkilinjat perustetaan. Tärkeä osa rakennettavuusselvitystä on myös tutkia, onko kellarin rakentaminen mahdollista. Rakennettavuusselvityksiä tehdään laajemmista alueista ja yksittäisistä tonteista. Selvitys on yleisluontoinen katsaus siitä, kuinka rakennus voidaan ko. tontille perustaa. Yksityiskohtaisempi perustamistapalausunto tehdään vasta sitten, kun rakennuksen suunnittelu varsinaisesti alkaa. Pohjarakennussuunnittelijan käsitys rakennettavuudesta on muihin suunnittelijoihin verrattuna siis erittäin selkeä ja yksinkertainen.

Arkkitiedin käsitys rakennettavuudesta on paljon laaja-alaisempi, kuten muiden arkkitehtihaastattelujen perusteella osattiin odottaa. Arkkitehti määrittelee rakennettavuuden talouden ja projektin reunaehtojen kautta. Talous on yksi tärkeimmistä reunaehdoista, joista arkkitehdin on pidettävä kiinni. Haastattelussa rakennettavuuden mittariksi ehdotettiin budjetissa pysymistä. Jos budjetti ylittyy reilusti, se on merkki siitä, että jossain

on tehty virhe tai on tehty sellaisia suunnitteluratkaisuja, jotka ovat vaatineet liian kalista toteutusta. Tilaajan asettamat reunaehdot projektille ovat oleellisimpia arkkitehdin näkökulmasta. Arkkitehdin on pyrittävä löytämään sellainen optimaalinen ratkaisu, jossa tilaajan asettamat vaatimukset yhdistyvät mm. kaupunkikuvallisiin, taloudellisiin ja rakennettavuuden asettamiin vaatimuksiin. Arkkitehdin yhdeksi keinoksi toteuttaa rakennettavuutta mainittiin, että suunnittelussa pyrittäisiin säilyttämään kantavat linjat yhtenäisinä läpi rakennuksen, alhaalta ylös asti.

Rakennesuunnittelijan mukaan rakennettavuutta on, että suunnitellaan sellaisia rakenteita, jotka olisivat mahdollisimman helppoja ja edullisia toteuttaa. Suunnitteluratkaisuista pitäisi tehdä rakennettavuuden kannalta mahdollisimman yksinkertaisia. Valittujen suunnitteluratkaisujen tulisi olla myös turvallisia rakentaa. Hyvään rakennettavuuteen päästään haastattelun mukaan käyttämällä mahdollisimman paljon vakiodetaljeja. Myös suunnitelmien yhteensovitus pidettiin tärkeänä osana hyvää rakennettavuutta.

Talotekniikan suunnittelijan käsitys rakennettavuudesta on hyvin samankaltainen kuin rakennesuunnittelijan. Rakennettavuutena pidettiin saumatonta rakentamista, mihin päästään, kun eri suunnittelualojen suunnitelmat toimivat hyvin yhteen ja ne toimivat myös suunnitellun rakennuksen kanssa. Haastattelussa keskusteltiin siitä, kuinka rakentamisessa tulee aina esille ongelmia, mutta rakennettavuus on näiden ongelmien minimoimista. Lvi-suunnittelija edistää rakennettavuutta määrittelemällä talotekniikan vaatimat reitit ja tilavaraukset oikein, ottamalla huomioon muiden suunnittelualojen vaatimukset ja arkkitehdin tilaohjelman.

Sähkösuunnittelijan näkemyksessä rakennettavuudesta korostui suunnitelmien toteutettavuus ja niiden järkevyys. Rakennettavuutena pidettiin suunnitelmia, jotka voidaan toteuttaa ja rakentaa helposti. Työturvallisuus katsottiin myös osaksi rakennettavuutta, mikä pitää huomioida suunnitelmissa. Suunnittelussa tulisi välttää turhia riskipaikkoja. Esimerkiksi valaistuksen sijoittamisella korkeissa tiloissa pystytään vaikuttamaan siihen, kuinka korkealla joudutaan työskentelemään. Sähkösuunnittelija pystyy vaikuttamaan asennettavuuden lisäksi oleellisesti myös sähkölaitteiden huollettavuuteen sijoittamalla laitteet oikein. Sijoittelu on tehtävä niin, että pääsy laitteen luo on mahdollinen sekä asennettaessa että huollettaessa.

Haastattelujen perusteella rakentajan näkemys on hyvin linjassa suunnittelijoiden näkemysten kanssa. Hyväksi rakennettavuudeksi luettiin suunnitelmien järkevyys, keskinäinen yhteensopivuus ja tietynlainen yksinkertaisuus. Haastattelujen mukaan hyvää rakennettavuutta on, että rakennusosien asennus- ja rakentamisjärjestystä on mietitty jo suunnitteluvaiheessa ja se näkyy myös suunnitelmissa. Suunnitteluratkaisujen tulisi olla helppoja ja kustannustehokkaita rakentaa, sekä työturvallisia. Detaljien toimivuus ja toteutettavuus koettiin erittäin tärkeäksi osaksi rakennettavuutta. Haastattelujen perusteella rakennuksen hyvä rakennettavuus luodaan nimenomaan suunnittelupöydällä ja rakentajan mahdollisuudet vaikuttaa siihen toteutusvaiheessa ovat hyvin rajalliset.

6.3 Haasteet

Esimerkkikohteen vastuuhenkilöiden haastatteluissa selvisi, että kohde poikkeaa perinteisistä asuinkerrostalokohteista. Kohteesta tekee erikoisen sen tontti, rakennuksen muoto ja pysäköinnin järjestäminen asuintalojen alle.

Arkkitehdin haastattelussa keskusteltiin siitä, kuinka tontin muoto ja sen ympäristö, ja toisaalta asemakaava ovat vaikuttaneet toteutuneisiin suunnitelmiin. Tontti on asettanut suurimmat haasteet arkkitehtisuunnittelulle. Tontti on kapea ja kiilamainen, ja jotta se on voitu hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti, on rakennusten toistuvuudesta jouduttu tinkimään. Asemakaava on puolestaan vaatinut liiketilojen rakentamista katutasoon, mikä on osaltaan rajoittanut asuinkerrosten lukumäärän kolmeen. Myös erittäin tarkkaan määritelty korkomaailma on ollut lisähaaste arkkitehtisuunnittelulle. Suunnitelmat on pitänyt toteuttaa noudattamalla naapuruston korkotasoa. Naapurirakennukset ovat 1960- ja 1970-luvun kolmi- ja nelikerroksisia kerrostaloja, joiden rakentamisessa on käytetty silloisia rakentamismenetelmiä (paikallavalmu ja elementtirakentamista). Uuden rakennuksen, jonka kantavien rakennusosien rakennepaksuudet ja kerrokorkeudet ovat nykytekniikoilla valmistettaessa suuremmat kuin naapurirakennusten rakenteiden, sovitaminen olemassa oleviin korkotasoihin ja ahtaalle tontille on siis ollut haasteellista ja vaatinut paljon suunnittelutyötä.

Ympäristö on vaikuttanut myös omalta osaltaan suuresti toteutuneisiin suunnitelmiin. Koska tonttia ympäröi joka puolelta katu, talolla ei ole ns. takajulkisivua, vaan tärkeitä julkisivuja on joka suuntaan. Lisäksi kohteella on rasisutukijöinä autoteiltä tulevan liikennemelun lisäksi junaliikenteen aiheuttama melu. Koska rakennuksen ympäristö on jo tiiviisti rakennettu, on pysäköinnin ja jätehuollon järjestäminen aiheuttanut omat haasteensa suunnittelulle. Pysäköinti ja jätehuolto päätettiin järjestää rakennusten alle, mikä on aiheuttanut kohteen suurimmat rakenteelliset haasteet.

Kaikki suunnittelijat mainitsivat haastatteluissa suurimmaksi haasteeksi rakennuksen muodon ja korkojen vaihtelun. Kohteessa on paljon tasoeroja ja toistuvuutta rakennusten välillä ei juuri ole. Esimerkiksi betonielementtejä on satoja erilaisia ja erilaisten liitosdetaljiiden määrä on merkittävän suuri. Rakentajan edustajat nimesivät juuri liitosdetaljiiden suuren määrän yhdeksi suurimmaksi haasteeksi rakennettavuudelle. Liitosdetaljeja pidettiin myös vaikeina toteuttaa. Koska toistuvuutta rakennuksissa ei juuri ole, on rakentaminen haastateltujen mukaan hitaampaa kuin normaaliasuinkerrostalokohteessa.

Kohteen suunnittelussa on tapahtunut lähtötietomuutoksia, mikä on haastateltujen suunnittelijoiden ja arkkitehdin mukaan ollut suurin haaste suunnittelutyölle. Merkittävin muutos lähtötiedoissa oli pohjavedenpinnan oletettua korkeampi taso. Pohjarakennussuunnittelun vastuuhenkilön haastattelussa selvisi, että tontille oli tehty kaupungin toimesta alustavat pohjatutkimukset, joiden perusteella pohjavedenpinnan taso oli riittävän alhaalla kellarin rakentamiseksi. Myöhemmin tehdyt tarkemmat pohjatutkimukset osoittivat kuitenkin, että pohjavedenpinnan taso oli huomattavasti korkeammalla ja suunnitellun pysäköintihallin paikkaa jouduttiin muuttamaan toiselle puolelle tonttia. Koko kellariratkaisun muuttuminen aiheutti merkittäviä muutoksia alkuperäisiin suunnitelmiin.

Rakennesuunnittelijan ja arkkitehdin mukaan pysäköinnin järjestäminen katutason alapuolelle on aiheuttanut haastetta suunnittelulle. Koska pysäköintitilat ovat kauttaaltaan talojen alla, kantavia rakenteita ei pystytty tuomaan suoraan perustuksille kaikkialla. Kuormia joudutaan siis siirtämään vaakasuunnassa, minkä takia kellarikerrokseen on sijoitettu jälkijännitettyjä palkkeja. Myös katutason alle sijoitettu jätehuolto on saanut aikaan kohteeseen melko mittavia rakenteita, sillä jätehuolto vaatii enemmän korkeutta ja vapaata tilaa kuin henkilöautojen pysäköinti.

Talotekniikka- ja sähkösuunnittelijan haastatteluissa merkittäviä haasteita talo- ja sähkötekniisten järjestelmien osalta ei juuri mainittu. Talotekniikan osalta kohde ei poikkea ns. peruskerrostalosta muussa kuin asuntokohtaisessa jäähdytyksessä. Asukas saa halutessaan lisämaksusta asuntonsa ilmanvaihtoon tuloilman jäähdytyksen, mikä on haastatellun mukaan kuitenkin yleistymässä oleva käytäntö osittain uusien energiamääräysten johdosta. Sähkötekniikan ja -tarvikkeiden osalta kohteen korkea laatutaso vaikuttaa siten, että kohteeseen tulee normaalia asuntokohdetta enemmän sähkökalusteita asuntoihin. Haasteelliseksi koettiin, teknisten järjestelmien sijaan, vaadittu mallinnustarkkuus.

Talotekniikan suunnittelijat pitivät tietomallinnusta erittäin hyvänä asiana kohteen osalta, mutta sitä pidettiin myös yhtenä merkittävänä haasteena. Vaaditun mallinnustarkkuuden kerrottiin lisäävän huomattavasti talotekniikan suunnittelun työmäärää. Useiden muutosten tekeminen paljon korkoeroja sisältävään kohteeseen koettiin työlääksi. Sähkösuunnittelussa esimerkiksi rasioiden korot joudutaan määrittelemään perinteistä suunnittelua tarkemmin mallinnettaessa. Talotekniikan mallinnuksessa lähes kaikki muiden suunnittelualojen muutokset vaikuttavat myös talotekniikkaan ja korjausten tekemisen kerrottiin olevan todella työlästä.

Rakentajan edustajien haastatteluissa kohteen haasteet näyttäisivät keskittyvän lähinnä rakenteellisiin seikkoihin, kuten liitosdetaljeihin, tasoeroihin ja vinoihin seiniin. Tätä tutkimusta tehtäessä kohde on vasta rungon toteutusvaiheessa, joten kohteen talotekniikan rakennettavuudesta ei ole vielä paljoakaan käytännön havaintoja. Rakentajan edustajien mukaan talotekniikan rakennettavuutta pyritään tehostamaan suunnitteluvirheiden eliminoimisella ennen asennustöiden alkua. Rakennuttajan lvi-asiantuntija on tarkastanut talotekniikkasuunnitelmia ristiriitojen ja törmäysten löytämiseksi mm. mallintarkastusohjelmalla.

Rakennesuunnittelijan ja arkkitehdin näkemyksistä poiketen, rakentaja ei pitänyt valittua pysäköintiratkaisua erityisen haasteellisenä. Pysäköintihalli on sisältynyt rakennuttajan kohteisiin jo pidemmän aikaa ja sen rakentamista on voitu pitää jo normaalina toimintatapana. Pysäköintihallin haasteena pidettiin kuitenkin vedeneristysdetaljeja ja käännettyjen rakenteiden toimivuutta.

6.4 Rakennettavuuden arviointi suunnittelijoiden toimesta

Haastateltujen suunnittelijoiden ja arkkitehdin mukaan jokainen suunnittelija on arvioinut rakennettavuutta omalta osaltaan suunnitelmiansa kautta. Jokaisella suunnittelualueella on omat osa-alueensa, joita he tarkastelevat asennettavuuden, huollettavuuden ja toteutuksen näkökulmasta. Rakennuttajan projektipäällikkö on osallistunut suunnittelukokouksiin ja arvioinut omalta osaltaan suunnitelmien toteutettavuutta.

6.4.1 Arkkitehtisuunnittelu

Arkkitehti on arvioinut kohteen rakennettavuutta tarkastelemalla, että kaikki kantavat linjat kulkevat ehjinä läpi rakennuksen. Kohteessa on kuitenkin jouduttu tekemään muutamia erikoisratkaisuja mm. pysäköintihallista johtuen.

Tarkastelu on tehty suoraan tietomallista visuaalisena tarkasteluna. Mallista on voitu ottaa esimerkiksi kantavat pilari- ja palkkirakenteet näkyviin erikseen ja tarkastella niiden jatkuvuutta. Malli on nopeuttanut kantavien linjojen ja muiden rakenteellisten seikkojen tarkastelua ja erikoispaikkojen havaitsemista. Mallissa havaitut ristiriidat, kuten

päällekkäisissä kerroksissa olevien pilareiden epäkeskisyydet, on voitu korjata heti. Arkkitehtisuunnitelmien yhteensopivuutta muiden suunnitelmien kanssa on tutkittu rakennuttajan tekemällä SMC-yhdistelmämallilla. Yhdistelmämallista on tutkittu törmäysasioita, kuten rakenteiden ja tekniikan yhteentörmäyksiä.

Arkkitehdin omien tarkastelujen lisäksi suunnitelmien rakennettavuutta on arvioitu suunnittelukokouksissa muiden suunnittelijoiden kanssa. Erityisesti suunnittelun alkuvaiheessa kokouksissa pidettiin arkkitehdin tietomallia koko ajan auki, mikä helpotti suunnitelmien tarkastelua.

6.4.2 Rakennesuunnittelu

Rakennesuunnittelija on arvioinut suunnitelmien rakennettavuutta yhteistyössä rakentajan kanssa. Rakennesuunnittelija arvioi rakennettavuutta omalta osaltaan suunnitelmia tarkastelemalla ja kommentoimalla suunnitelmien yhteensopivuutta muihin suunnitelmiin. Mitään varsinaista rakennettavuuden arvioinnin työkalua rakennesuunnittelijalla ei ole, vaan arviointi perustuu suunnittelijan kokemukseen. Kohteen tietomallia on käytetty tarkastelujen apuna, esimerkiksi palaverissa työmaan kanssa on keskusteltu mallin avulla rakenteista ja niiden toteuttamisesta.

Tietomallien tarkastuksia on tehty Solibrilla rakennuttajan toimesta ja rakennesuunnittelija on käynyt läpi suunnitelmiaan tarkastusraporttien perusteella. Rakennesuunnitelmien rakennettavuutta on pyritty edistämään myös käyttämällä mahdollisimman paljon rakennuttajan omia vakiodetaljeja.

6.4.3 Talotekniikkasuunnittelu

Talotekniikan suunnitelmien rakennettavuutta on arvioitu hankkeen alusta alkaen yhteistyössä muiden suunnittelijoiden ja rakennuttajan edustajien kanssa. Lvi-suunnittelija tekee koko ajan 3D-tarkastelua suunnitelleessaan järjestelmiä. Kohteen tietomallista tarkastellaan talotekniikan keskinäisiä törmäilyjä ja törmäilyjä rakenteiden kanssa. Törmäystarkasteluja on tehty Solibrilla rakennuttajan tarkastusmallin pohjalta.

Solibri on lvi-suunnittelijan mukaan erittäin hyvä työkalu talotekniikkasuunnitelmien yhteensovittamiseksi muiden suunnitelmien kanssa. Lvi-suunnitelmat on mallinnettu MagiCadilla, minkä pyörittäminen visuaalisia tarkastuksia varten voi olla hidasta tämän kokoisessa projektissa. Sen takia on järkevämpää, että on suoraan sellainen ohjelma, joka on kevyempi pyörittää ja johon pystytään lataamaan myös muiden suunnittelualojen mallit. Solibria on käytetty visuaalisena tarkastustyökaluna, jonka avulla nähdään talotekniikan törmäilyt ja arkkitehdin tilasuunnitelmat.

Lvi-suunnitelmien rakennettavuutta ovat arvioineet myös rakennuttajan omat lvi-asiantuntijat sekä ulkopuolinen lvi-valvoja. Rakennuttajan asiantuntijat arvioivat lvi-suunnitelmia asennettavuuden ja toteutettavuuden näkökulmasta. Lvi-valvoja valvoo suunnitelmien virheettömyyttä ja tekee havaitsemiensa puutteiden osalta tarkastuspöytäkirjoja.

Sähkösuunnittelija on arvioinut rakennettavuutta omissa suunnitelmissaan koko ajan. Esimerkiksi johdotukset on pyritty suunnittelemaan siten, että ne ovat mahdollisimman järkevästi toteutettavissa. Elementtien sähköistämisessä mietitään myös, miten suunnitelma toimii toteutuksen kannalta.

Sähkösuunnitelmien toteutettavuutta tarkastellaan tietomallien yhteensovittamisen avulla. Sähkömalli sovitetaan yhteen rakenne- ja talotekniikkamallien kanssa. Yhdistelmämallista tarkistetaan, etteivät ainakaan putket ja sähköhyllyt ole päällekkäin tai putket lävistä sähkökeskuksia. Suunnitelmien yhteensopivuutta on tarkasteltu myös rakennuttajan törmäystarkasteluraportteja läpikäymällä yhteistyössä muiden suunnittelijoiden kanssa.

6.5 Rakennettavuuden arviointi rakentajan toimesta

Rakentaja on arvioinut rungon rakennettavuutta tietomallin avulla. Mallista on tutkittu liitoksia ja mietitty asennusjärjestyksiä, esimerkiksi parvekeratkaisuiden osalta. Rakennettavuuden arviointi on rakentajan mukaan vuoropuhelua suunnittelijoiden, erityisesti rakennesuunnittelijan, kanssa. Tietomallin lisäksi arviointiin ei vielä ole olemassa muita apuvälineitä. Tietomallin kautta rakennettavuutta voidaan arvioida vain oman osaamisen ja kokemuksen avulla. Arviointityötä ei haastateltujen mukaan voi tehdä luotettavasti projektin ulkopuolisten henkilöiden toimesta.

Talotekniikan rakennettavuutta on arvioitu työmaalla erillisen lvi-asiantuntijan toimesta. Lvi-asiantuntija on käyttänyt arviointityökaluna Solibria, jonka avulla on toteutettu tietomallien väliset törmäystarkastelut. Törmäystarkasteluissa tarkastellaan talotekniikan mahdolliset törmäilyt rakenteisiin, lvi-tekniikan sisäiset törmäilyt ja törmäilyt sähköjärjestelmien kanssa. Yhdistelmämallista tehdyt havainnot kootaan Excel-raportiksi, joka lähetetään edelleen suunnittelijoille, rakennuttajalle, vastaavalle työnjohtajalle ja työpäällikölle. Excel-raportin lisäksi projektipankkiin on tallennettu suoraan SMC-tiedosto, jota suunnittelijat ovat halutessaan voineet käyttää. Lvi-suunnittelija on hyödyntänyt juuri tätä SMC-tiedostoa, joka nopeuttaa hieman virhekohtien löytämistä, kun kohtia ei tarvitse etsiä manuaalisesti Excel-raportin kuvien perusteella.

Lvi-asiantuntijan tehtävänä on ollut myös tarkastella talotekniikkasuunnitelmia kustannusten ja toteutettavuuden näkökulmasta. Suunnitelmien tarkastuksen yhteydessä on pyritty löytämään asioita, joita muuttamalla olisi vielä mahdollista saada aikaan kustannussäästöjä tai havaittu kohta voitaisiin toteuttaa helpommin. Muutostarpeet yritetään löytää työmaalla ennen asennustöiden aloitusta.

Vastaava työnjohtaja arvioi rakennettavuutta yhdessä työpäällikön ja muiden työnjohtajien kanssa työsuunnittelun yhteydessä. Vastaava työnjohtaja käyttää tietomallia päivittäin ja mallia hyödynnetään työmaalla erittäin paljon. Vastaava työnjohtaja arvioi kohteen rakennettavuutta kokonaisuutena ja miettii projektin aikataulun ja asennusten etenemistä. Vastaava työnjohtaja välittää omat huomionsa aina kyseisen osa-alueen työnjohtajalle, joka arvioi rakennettavuutta vielä omalta osaltaan, oman alueensa työsuunnittelun aikana.

Tietomalli on ollut kaikkien haastateltujen mukaan välttämätön apuväline tällaisessa kohteessa, jossa on paljon tasoeroja ja yksityiskohtia. Työmaalla rakennettavuutta arvioidaan pääsääntöisesti tietomallien avulla. Nyt runkovaiheessa työmaalla tarkastellaan rakennesuunnittelijan rakennemallia ja myöhemmin hyödynnetään myös arkkitehdin rakennusosamallia. Talotekniikan asennuksissa hyödynnetään haastateltujen mukaan ehdottomasti tietomallia.

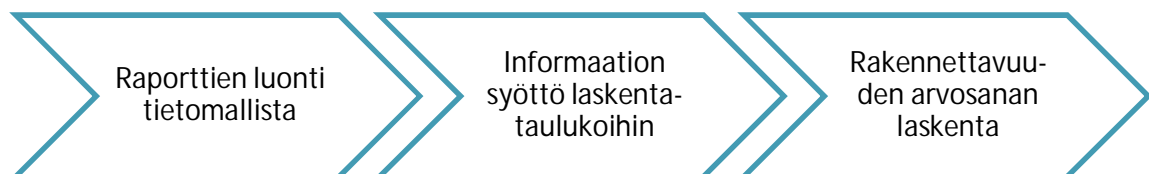
Vastaavaa työnjohtajaa pyydettiin haastattelussa antamaan esimerkkikohteen rakennettavuudelle arvosana asteikolla 0-100. Vastaava työnjohtaja antoi kohteen rakennettavuudelle arvosanan 40, kun paras kohde, jossa hän on ollut mukana, sai arvosanan 80–85 väliltä. Perusasiat ovat olleet suunnitelmissa kunnossa, mutta suunnitelmat, erityisesti liitokset, ovat olleet tähän mennessä vaikeita toteuttaa ammattitaitoihin työntekijöihin panostamisesta huolimatta. Kohteen pisteitä lisäsi se, että kohteessa on paikallavaluvälipohjat ja -pihakannet, sekä rapattu julkisivu. Välipohjien toteutus paikallavaluna on vastaavan työnjohtajan mukaan täysin mielipide- ja tottumiskysymys. Tähän kohteeseen paikallavaluvälipohja oli haastatellun mukaan kuitenkin sopiva ja paras vaihtoehto. Julkisivutyyppejä pidettiin myös hyvänä asiana rakennettavuuden kannalta, sillä pohjarapatut julkisivuelementit nopeuttavat kohteen lämmityksen aloitusta ja sitä kautta myös rakennusvaipan lämpimäksi saantia.

7 Esimerkkikohteen rakennettavuusanalyysit

7.1 Menetelmä I: TS-mallin käyttö toteutussuunnitteluvaiheessa

Esimerkkikohteen rakennettavuutta arvioitiin Laakson kehittämällä menetelmällä, joka arvioi rakennettavuutta rakennusrungon kvantitatiivisten tekijöiden avulla. Menetelmän perusteita on esitelty tarkemmin luvussa 3.4.

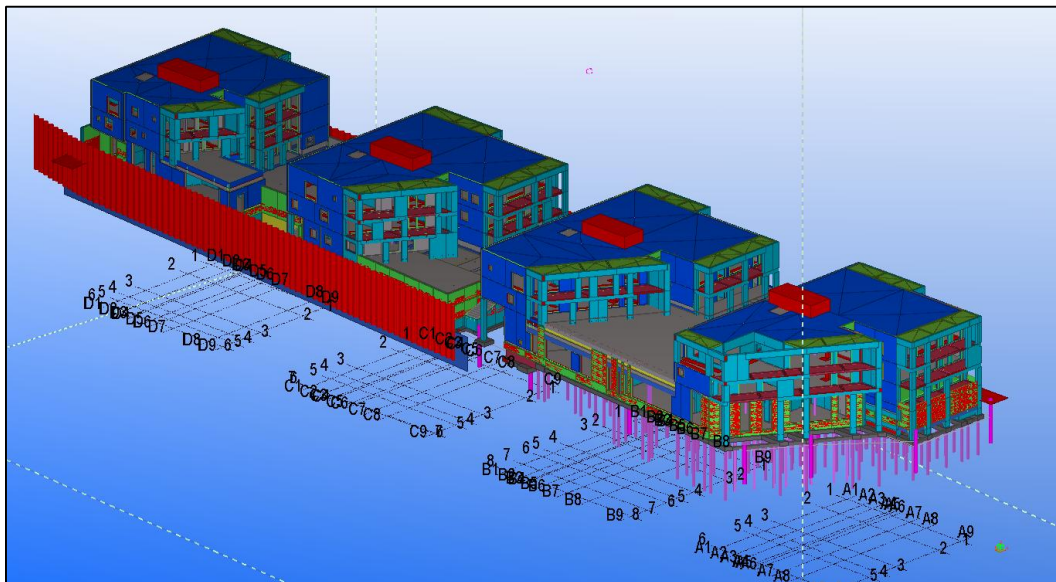
Rakennettavuuden arvosanan määrittämiseksi esimerkkikohteen rakennetietomallista tulostettiin tarvittavat mitta- ja määrätiedot rungon rakennusosista, jotka syötettiin Excel-taulukoihin. Taulukoiden avulla saatiin määriteltyä rakennettavuuden tunnusluvut rakennusosittain, joiden avulla pystyttiin laskemaan esimerkkikohteelle lopullinen rakennettavuuden arvosana.



Kaavio 7. Arviointimenetelmän I kulku.

7.1.1 Tietomalli ja informaation tulostaminen

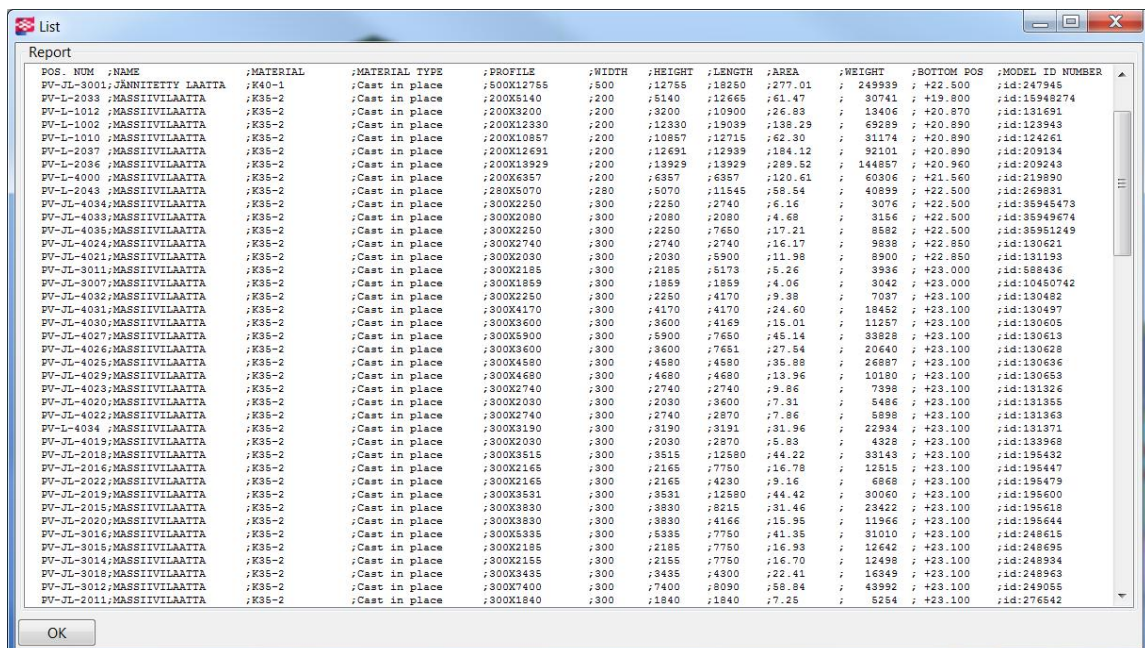
Arviointimenetelmässä käytettiin rakennesuunnittelijalta saatua Tekla-mallia, joka oli mallinnettu Tekla Structures (myöhemmin TS) -ohjelmiston versiolla 18.0.8.



Kuva 5. Esimerkkikohteen rakennemalli.

Tietomalli oli toteutusvaiheen runkomalli, johon oli mallinnettu kaikki rungon rakennusosat. Rakennusosat oli pääasiallisesti nimetty ja numeroitu ja niille oli määritelty tarvittavat materiaalitiedot. Suurin osa betoniosista oli myös raudoitettu ja talotekniikan reikätietoja oli viety malliin jonkin verran. Koska kyseessä oli kuitenkin toteutusvaiheen malli, päivittyi rakennemalli hieman jatkuvasti tutkimuksen aikana. Tutkimuksessa päätettiin käyttää samaa rakennemallia koko ajan, jotta laskentataulukoiden työläältä päivittämiseltä välttyttäisiin. Tutkimuksessa käytettiin rakennemallia, joka oli päivätty 17.5.2013 ja se sisälsi käytetyn laskentamenetelmän kannalta kaikki oleelliset tiedot.

Tietomallista tulostettiin Laakson luomien raporttipohjien avulla laskentataulukoihin tarvittuja tietoja rakennusosakohtaisesti. Kuvassa 6 on esimerkki välipohjalaattojen raportista, josta nähdään kunkin rakennusosan positionumero, nimi, materiaali, profiili, leveys, korkeus, pituus, pinta-ala, paino, alapinnan korkotaso ja osan id-numero, jonka avulla rakennusosa voidaan tarvittaessa jäljittää tietomallista.



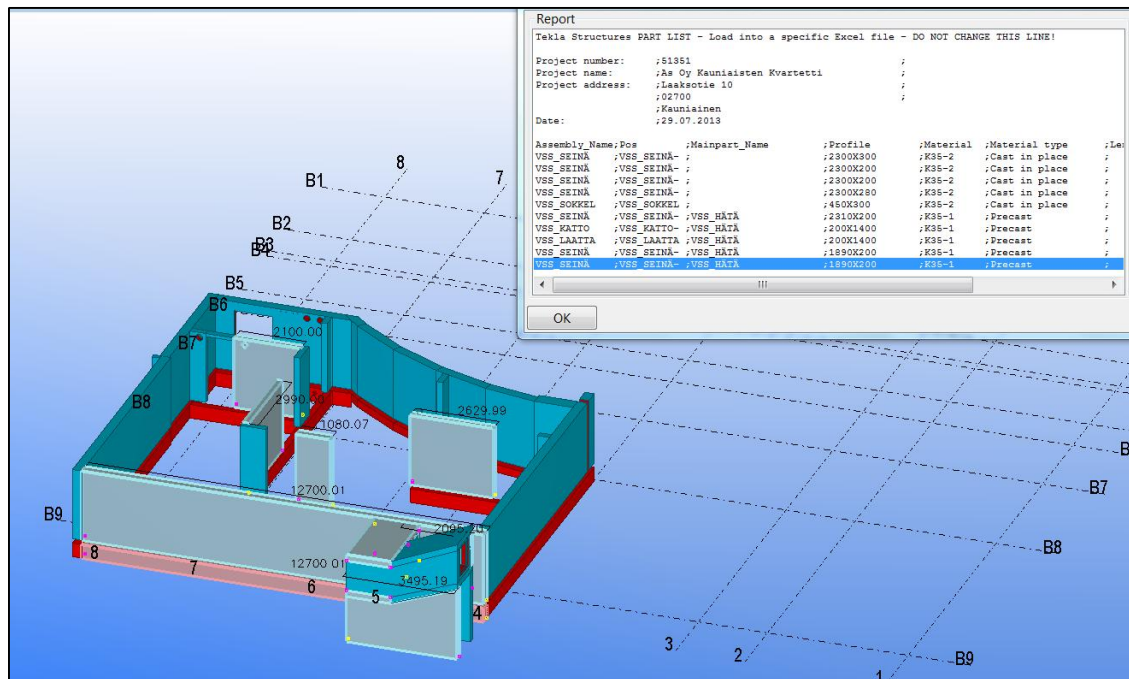
POS. NUM	NAME	MATERIAL	MATERIAL TYPE	PROFILE	WIDTH	HEIGHT	LENGTH	AREA	WEIGHT	BOTTOM POS	MODEL ID NUMBER
FV-JL-3001	JÄNNITETTY LAATTA	K40-1	Cast in place	500X12755	500	12755	18250	277.01	249939	+22.500	Id:247945
FV-L-2038	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	200X5140	200	5140	12665	61.47	30741	+19.800	Id:15948274
FV-L-1012	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	200X3200	200	3200	10900	26.83	13406	+20.870	Id:131591
FV-L-1002	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	200X12330	200	12330	13039	138.29	69289	+20.890	Id:123943
FV-L-1010	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	200X10857	200	10857	12715	62.30	31174	+20.890	Id:124261
FV-L-2037	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	200X12691	200	12691	12939	184.12	92101	+20.890	Id:1209134
FV-L-2036	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	200X13929	200	13929	13929	289.52	144857	+20.960	Id:209243
FV-L-4000	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	200X6357	200	6357	6357	120.61	60306	+21.560	Id:219590
FV-L-2043	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	220X5070	220	5070	11545	58.54	40899	+22.500	Id:265831
FV-JL-4034	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2250	300	2250	2740	6.16	3076	+22.500	Id:35945473
FV-JL-4033	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2080	300	2080	2080	4.68	3156	+22.500	Id:35949674
FV-JL-4035	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2250	300	2250	7650	17.21	8582	+22.500	Id:35951249
FV-JL-4024	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2740	300	2740	2740	16.17	9838	+22.850	Id:130621
FV-JL-4021	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2030	300	2030	5900	11.98	8900	+22.850	Id:131193
FV-JL-3011	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2185	300	2185	5173	6.26	3936	+23.000	Id:588436
FV-JL-3007	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X1859	300	1859	1859	4.06	3042	+23.000	Id:10450742
FV-JL-4032	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2250	300	2250	4170	9.38	7037	+23.100	Id:130482
FV-JL-4031	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X4170	300	4170	4170	24.60	18452	+23.100	Id:130497
FV-JL-4030	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X3600	300	3600	4169	15.01	11257	+23.100	Id:130605
FV-JL-4027	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X3900	300	3900	7650	45.14	33828	+23.100	Id:130613
FV-JL-4026	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X3600	300	3600	7651	27.54	20640	+23.100	Id:130628
FV-JL-4025	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X4580	300	4580	4580	35.88	26887	+23.100	Id:130636
FV-JL-4029	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X4680	300	4680	4680	13.96	10180	+23.100	Id:130653
FV-JL-4023	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2740	300	2740	2740	9.86	7898	+23.100	Id:131326
FV-JL-4020	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2030	300	2030	3600	7.31	5465	+23.100	Id:131355
FV-JL-4022	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2740	300	2740	2870	7.96	5898	+23.100	Id:131363
FV-L-4034	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X3190	300	3190	3191	31.96	22934	+23.100	Id:131371
FV-JL-4019	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2030	300	2030	2870	5.83	4328	+23.100	Id:133968
FV-JL-2018	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X3515	300	3515	12580	44.22	33143	+23.100	Id:195432
FV-JL-2016	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2165	300	2165	7750	16.78	12518	+23.100	Id:195447
FV-JL-2021	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2165	300	2165	4230	9.16	6868	+23.100	Id:195479
FV-JL-2015	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X3531	300	3531	12580	44.42	30060	+23.100	Id:195600
FV-JL-2015	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X3830	300	3830	8215	31.46	23422	+23.100	Id:195618
FV-JL-2020	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X3830	300	3830	4166	15.95	11966	+23.100	Id:195644
FV-JL-3016	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X5335	300	5335	7750	41.35	31010	+23.100	Id:248615
FV-JL-3015	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2185	300	2185	7750	16.93	12642	+23.100	Id:248695
FV-JL-3014	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X2155	300	2155	7750	16.70	12498	+23.100	Id:248934
FV-JL-3018	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X3435	300	3435	4300	22.41	16349	+23.100	Id:248963
FV-JL-3012	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X7400	300	7400	8090	58.84	43992	+23.100	Id:249055
FV-JL-2011	MASSIIVILAATTA	K35-2	Cast in place	300X1840	300	1840	1840	7.25	5254	+23.100	Id:276542

Kuva 6. Esimerkkikohteen tietomallista tulostettu rakennusosaraportti. Rakennusosaksi on valittu välipohjalaatat.

Vastaavanlaiset raportit tulostettiin myös pilareista, palkeista, muista laattarakenteista, seinä- ja kuorirakenteista, sekä anturoista. Anturat jaoteltiin perustamistavan mukaisesti nauha-, paalu-, pilarianturoihin sekä jatkuviin paaluanturoihin ja näiden profiili- ja geometriatiedot tulostettiin omille raporteilleen. Laattarakenteet jaoteltiin aluksi ala-, välipohja- ja kattolaattoihin, mutta listaukseen lisättiin myös kuorilaatat, jotka huomattiin myöhemmin mallin tarkastelun yhteydessä. Tietomallista löytyi myös liittolaattoja, jotka olivat osa välipohjarakenteita. Liittolaattojen osuus oli kuitenkin niin pieni (5 kpl), että ne jätettiin kokonaan pois laskennasta.

Tietomallia tarkasteltaessa huomattiin pieniä mallinnusvirheitä tai -puutteita, jotka hankaloittivat hieman informaation tulkitsemista mallista. Joistain rakennusosista puuttui osia nimistä ja osa rakennusosista oli määritelty sekä paikallavaluiksi että elementtirakenteiseksi. Projektin ulkopuolisen henkilön oli vaikea arvioida, onko kahden eri materiaalityypin (paikallavalu vs. elementti) käyttö ollut vain huolimattomuutta vai tarkoi-

Rakennusosaraporttien luominen onnistui hyvin kaikkien muiden rakennusosien, paitsi väestönsuojan seinien osalta. Väestönsuojan seinät oli mallinnettu valuyksiköittäin siten, että ainoastaan valuyksikön pääosa (main part) oli nimetty. Tämän takia raporttiin tulostui ainoastaan valuyksiköiden pääosien tiedot kuvan 7 mukaisesti.



Väestönsuojan seinien mallinnustavasta johtuen raporttipohja ei toiminut sille tarkoitettulla tavalla. Seinien tietoja olisi voitu tarkastella myös yksitellen suoraan mallista ja siirtää ne manuaalisesti laskentataulukoihin. Alustavien laskelmien perusteella väestönsuojan seinien vaikutus kaikkien seinien rakennettavuuden tunnuslukuun (C_i) oli kuitenkin niin pieni, että väestönsuojan seinät päätettiin jättää huomioimatta.

50

Report									
POS. NUM	NAME	MATERIAL	MATERIAL TYPE	PROFILE	WIDTH	HEIGHT	LENGTH	AREA	
CX-2006	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X3200	260	3200	4728	0.00	
CX-2003	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X3090	260	3090	3200	19.76	
CX-2004	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X3200	260	3200	3795	12.14	
CX-2005	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X3200	260	3200	3860	14.40	
CX-2002	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X3199	260	3199	4835	26.54	
CX-2011	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X2585	260	2585	4580	11.84	
CX-2012	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X2585	260	2585	3315	8.57	
CX-1005	PARVEKEKATTOLAATTA	K40-1	Precast	260X3200	260	3200	3200	13.55	
CX-1006	PARVEKEKATTOLAATTA	K40-1	Precast	260X3200	260	3200	3200	14.59	
CX-1007	PARVEKEKATTOLAATTA	K40-1	Precast	260X3200	260	3200	3200	13.87	
CX-1008	PARVEKEKATTOLAATTA	K40-1	Precast	260X2625	260	2625	2625	12.94	
CX-1010	PARVEKEKATTOLAATTA	K40-1	Precast	260X2625	260	2625	2625	9.19	
CX-1002	PARVEKEKATTOLAATTA	K40-1	Precast	260X3035	260	3035	5376	13.12	
CX-1004	PARVEKEKATTOLAATTA	K40-1	Precast	260X3035	260	3035	3035	17.69	
CX-1003	PARVEKEKATTOLAATTA	K40-1	Precast	260X3035	260	3035	3035	12.08	
CX-1000	PARVEKEKATTOLAATTA	K40-1	Precast	260X2398	260	2398	3516	7.46	
CX-1001	PARVEKEKATTOLAATTA	K40-1	Precast	260X2707	260	2707	3658	-0.00	
CX-2010	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X2095	260	2095	3200	6.70	
CX-2009	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X3200	260	3200	3200	13.22	
CX-2008	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X2715	260	2715	3200	8.69	
CX-2007	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X3200	260	3200	3200	13.34	
CX-2013	PARVEKEKATTOLAATTA	K45-1	Precast	260X2585	260	2585	3315	8.57	

Kuva 8. Parvekelaattojen TS-raportti.

Raporttipohjiin tulostui joskus myös ylimääräisiä rakennusosia. Esimerkiksi väliseinä-raporttiin tulostui kahden maanpaineseinän tiedot, vaikka raportti luotiin vain valituista väliseinäelementeistä. Tämä oli kuitenkin pieni ongelma, jonka pystyi korjaamaan hel- posti poistamalla ylimääräiset tiedot laskentataulukosta.

7.1.2 Laskentataulukot

Tietomallista tulostetut rakennusosakohtaiset tiedot siirrettiin Excel-taulukoihin, jotka oli luotu rakennusosaryhmittäin. Osa taulukoista oli ohjelmoitu laskemaan rakennusosil- le rakennettavuuden tunnusluvut ilman painokertoimia (W_i) ja osaan taulukoista oli määritelty painokertoimet. Rakennettavuuden tunnusluku haluttiin määrittää ilman eri- tyistä painotusta, joten kaikista taulukoista määriteltiin tunnusluvut ilman painokerto- mien vaikutusta.

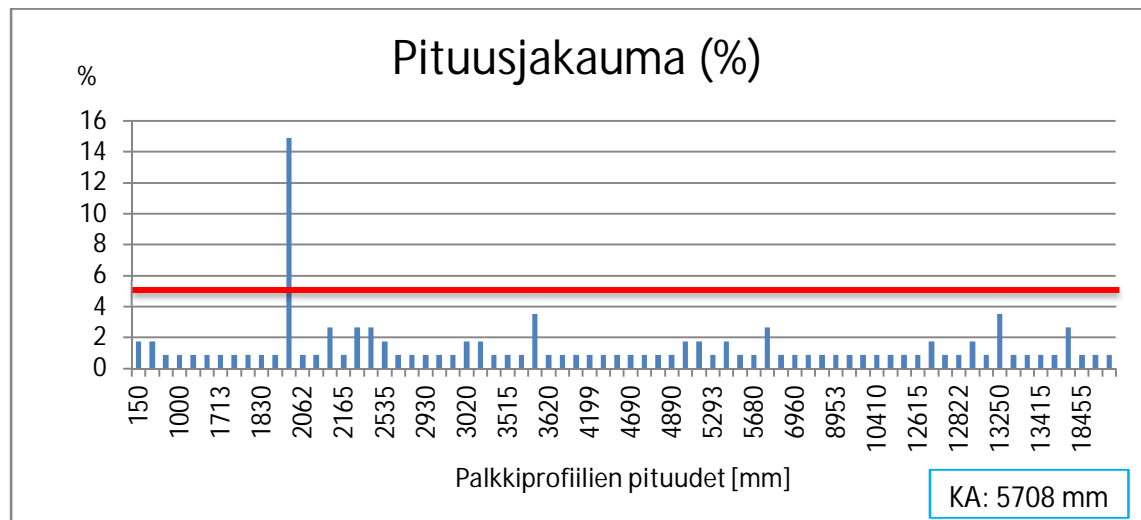
Laskentataulukot määrittelivät syötetyn informaation perusteella jokaiselle rakennus- osalle suhdeluvut etukäteen määriteltyjen kriteerien mukaisesti. Pilari- ja palkkiraken- teille mittauskriteerejä olivat profiilien lukumäärä sekä pituus- ja painorajojen ylittymi- nen. Tarkemmat tiedot eri rakennusosien mittauskriteereistä on esitelty luvussa 3.4. Taulukko 2 on esimerkki tunnuslukujen laskentataulukosta.

Taulukko 2. Esimerkki rakennettavuuden tunnusluvun laskentataulukosta.

Betonielementit	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,3333	95,70
Pituudet	0,7500	0,3333	C= 0,42
Painot	0,0000	0,3333	

Paikallavaluosat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,3333	4,30
Pituudet	0,0000	0,3333	C= 0,67
Painot	0,0000	0,3333	

Taulukoiden avulla pystyttiin myös jaottelemaan tietomallista kerätty rakennusosainformaatio materiaalien ja profiilien mukaan, sekä määrittämään rakennusosien pituus- ja painojakaumia. Jakaumatietojen avulla nähtiin, kuinka paljon erilaisia profiileja kohteessa on ja kuinka suuri osa elementeistä on painavia. Pituusjakaumien avulla pystyttiin myös laskemaan palkkien, pilareiden ja kuorirakenteiden ns. häiriöpituuksia eli pituuksia, jotka poikkeavat selvästi keskiarvosta ja niiden osuus pituusjakaumasta on alle 5 %:a. [5, s. 56] Kaaviossa 8 on esitetty esimerkkikohteen palkkirakenteiden pituusjakauma. 5 %:n raja on merkitty kuvassa punaisella viivalla.



Kaavio 8. Palkkirakenteiden pituusjakauma. Keskiarvopituus on 5708 mm ja häiriöpituuden raja on merkitty kuvaan punaisella viivalla.

Laskentataulukoiden avulla rakennusosien tunnusluvut saatiin määriteltä melko nopeasti ja helposti. Tietomallin tuottamaa informaatiota pystyttiin arvioimaan kriittisesti, samalla kun tietoja syötettiin laskentataulukoihin. Myös virheelliset tai ylimääräiset tiedot pystyttiin poistamaan laskentataulukoista tässä vaiheessa. Tietojen muokkaamista laskentataulukoissa pyrittiin kuitenkin välttämään, jotta laskentatulokset vastaisi mahdollisimman hyvin tietomallin antamaa informaatiota. Ainoastaan selkeästi laskentaa vääristävät tiedot, kuten väärät rakennusosat, poistettiin tai muutettiin.

7.1.3 Rakennettavuuden arvosanan laskenta

Esimerkkikohteen rakennettavuuden arvosana laskettiin tietomallin ja laskentataulukoiden avulla määritettyjen rakennusosien tunnuslukujen perusteella kaavan (3) mukaisesti. Arvosanan laskentataulukko ja laskennan tulos on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Esimerkkikohteen rakennettavuuden arvosana rakennemallista laskettuna.

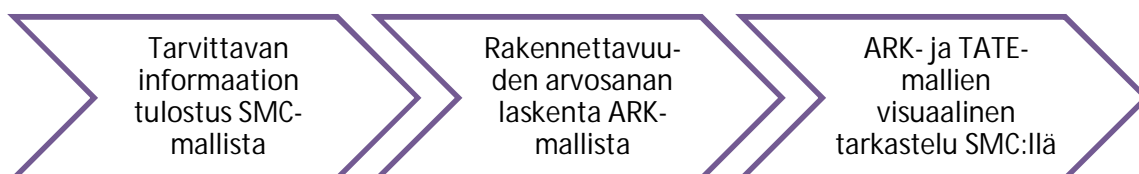
Arvosana			
	Tunnusluku C_i	Painokerroin W_i	
Perustukset	0,71	0,2	
Pilarit	0,43	0,2	
Palkit	0,43	0,2	
Laatat	0,63	0,2	
Seinät	0,50	0,2	Arvosana
			54,00

Rakennettavuuden arvosanan laskennassa siis huomioitiin rungon suuret rakennusosat: perustukset, pilarit, palkit, laatat ja seinät. Laskennasta jätettiin pois väestönsuojan seinät ja liittolaatat, joiden osuus koko rakennusrungosta oli erittäin pieni. Rakennettavuuden arvosanaksi saatiin näin ollen 54,00, kun maksimiarvosana on 100,00.

Rakennettavuuden arvosana haluttiin myös määritellä ilman erityistä painotusta, kuten tunnuslukukin. Tämän takia laskennassa on käytetty jokaiselle rakennusosalle painokerrointa 0,2. Painottamaton arvosana on näin ollen myös vertailukelpoisempi Laakson tutkimien asuinkerrostalokohteisiin, jotka laskettiin myös ilman painokertoimien vaikutusta. Esimerkkikohteen rakennettavuuden arvosanan laskentataulukot löytyvät kokonaisuudessaan liitteestä 3.

7.2 Menetelmä II: Arkkitehdin rakennusosamallin käyttö yleisuunnitteluvaiheessa

Esimerkkikohteen rakennettavuutta tarkasteltiin seuraavaksi menetelmän II ja tehtyjen vastuuhenkilöiden haastatteluiden pohjalta. Tarkasteluvälineenä käytettiin SMC-ohjelman versiota 8.1. Menetelmän II tarkoituksena oli selvittää, voidaanko mallintarkastusohjelmalla tulostaa menetelmään I tarvittava informaatio ja laskea näin rakennettavuuden arvosana arkkitehtimallin perusteella. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, kuinka ohjelmaa tulisi hyödyntää arkkitehti- ja talotekniikkamallien visuaalisessa tarkastelussa rakennettavuuden näkökulmasta. Arviointimenetelmän kulku on esitetty kaaviossa 9.

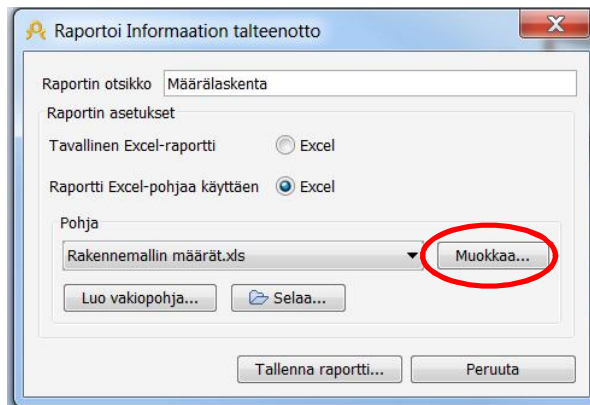


Kaavio 9. Arviointimenetelmän II kulku.

Menetelmässä II käytettiin rakennesuunnittelijalta saatua arkkitehdin ifc-mallia, joka oli päivätty 13.2.2012. Ifc-malli edusti yleissuunnitteluvaiheen rakennusosamallia, joka sisälsi asemapiirustuksen sekä kaikki rakennusosat jaoteltuna rakennetyypeittäin. Lisäksi yhdistelmämallina tarkasteltiin SMC-tiedostoa, joka oli luotu toukokuussa (2013). Yhdistelmämalli sisälsi arkkitehti-, talotekniikka- ja rakennemallit.

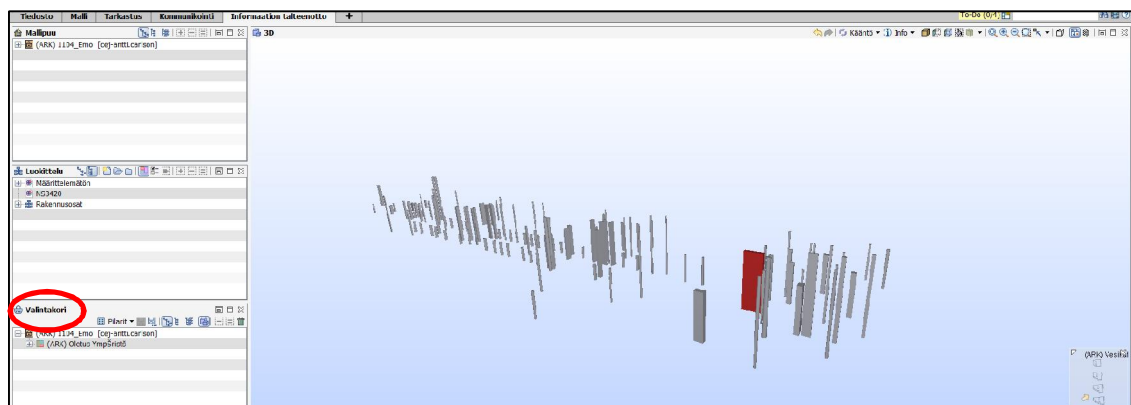
7.2.1 Tarvittavan informaation tulostus laskentamenetelmää varten

Arkkitehtimallin rakennettavuuden arvosanan laskentaa varten tutkittiin Solibrin informaation tulostus -ominaisuuksia. Informaation tulostusta varten Solibrilla luotiin oma raporttipohja. Raporttipohja tehtiin hyödyntämällä Solibrin valmista Excel-tiedostoa ”Rakennemallin määrät”. Raporttipohjaan kerättiin mahdollisuuksien mukaan Laakson laskentamenetelmään vaadittu tieto. Raporttipohjien luomisen yhteydessä havaittiin, että arkkitehtimallin sisältämä asemapiirros hankaloitti tarvittavan informaation talteenottoa, joten asemapiirros päätettiin poistaa kokonaan arkkitehtimallista laskentatarkastelun ajaksi. Kuvassa 9 on esitetty näkymä Solibrin raportointivalikosta.



Kuva 9. Raporttipohjan valinta ja muokkaus Solibrissa tapahtuu ”Raportoi Informaation talteenotto” -valikon kautta.

Rakennusosien informaatio kerättiin komponenttityypeittäin, luomalla tarvittavista komponenttityypeistä omat valintakorit. Valintakorit luotiin: pilari-, palkki-, laatta- ja seinäkomponenteista. Jokaisesta valintakorista tulostettiin laskentamenetelmään tarvittu informaatio luodun raporttipohjan avulla. Kuvassa 10 on esitetty esimerkki luodusta pilari-valintakorista.



Kuva 10. Näkymä pilari-valintakorista.

Arkkitehtimallista pystyttiin tulostamaan helposti komponenttien mittatietoja, kuten: pituus, leveys ja korkeus. Arkkitehtimallista ei kuitenkaan voitu tulostaa suoraan komponenttien painoja, sillä arkkitehtimalli ei sisältänyt vielä yksityiskohtaisia elementtitietoja, kuten rakennemalli sisälsi. Mallista pystyttiin kuitenkin tulostamaan rakennusosien tilavuudet, minkä avulla raporttipohjaan luotiin paino-sarake, joka laski SMC-

tiedostosta tulostettujen tilavuustietojen avulla karkean arvion betoniosien painosta. Teräsbetonin tiheytenä raporttipohjassa käytettiin 2500 kg/m^3 . Kuvassa 11 on näytetty pieni osuus luodusta rakennusosaraportista.

11	Rakennusosa	Tyyppi	Leveys (m)	Korkeus (m)	Pituus (m)	Tilavuus (m3)	Paino (kg)
12	1233 Pilarit	Betoni	0,375	11,31	0,375	1,26	937,5
13	1233 Pilarit	Betoni	0,395	0,8	0,395	0,099	987,5
14	1233 Pilarit	Betoni	0,494	4,93	0,494	0,952	1235
15	1233 Pilarit	Betoni	0,494	5,9	0,494	1,14	1235
16	1233 Pilarit	Betoni	0,494	5,9	0,494	1,14	1235
17	1233 Pilarit	Betoni	0,494	5,9	0,494	1,14	1235
18	1233 Pilarit	Betoni	0,494	5,9	0,494	1,14	1235
19	1233 Pilarit	Betoni	0,494	8,9	0,494	1,72	1235
20	1233 Pilarit	Betoni	0,494	8,9	0,494	1,72	1235
21	1233 Pilarit	Betoni	0,494	8,9	0,494	1,72	1235
22	1233 Pilarit	Betonirakenne	0,2	10,86	0,6	1,3	1500
23	1233 Pilarit	Betonirakenne	0,375	4,56	0,375	0,509	937,5
24	1233 Pilarit	Betonirakenne	0,375	4,56	0,375	0,509	937,5
25	1233 Pilarit	Betonirakenne	0,375	5,81	0,375	0,648	937,5
26	1233 Pilarit	Betonirakenne	0,375	8,9	0,375	0,993	937,5
27	1233 Pilarit	Betonirakenne	0,375	8,9	0,375	0,993	937,5
28	1233 Pilarit	Betonirakenne	0,375	11,51	0,375	1,28	937,5
29	1233 Pilarit	Betonirakenne	0,375	11,51	0,375	1,28	937,5

Kuva 11. Esimerkki Solibrilla luodusta raporttipohjasta.

Arkkitehtimalliin ei ollut määritelty rakennusosien profiilitietoja erikseen, joten profiilitiedot eroteltiin rakennettavuuden arvosanan laskentataulukoihin pinta-ala ja tilavuustietojen avulla. Pinta-alaltaan tai tilavuudeltaan täysin samat rakennusosat listattiin laskentataulukoihin samoiksi profiileiksi.

Laskentamenetelmää varten arkkitehtimallista saatiin tulostettua siis ainoastaan profiilien lukumäärä-, pituus- ja karkeasti arvioitua painotiedot. Arkkitehtimallista puuttuvia tietoja olivat: perustukset, paikallavaluosuudet ja reiät. Korkeusasematiedot olisi voitu määrittää arkkitehtimallista, mutta niiden arvioiminen ennen tarkempien rakennesuunnitelmien tekoa ei olisi ollut kovin järkevää.

7.2.2 Rakennettavuuden arvosanan laskenta arkkitehtimallista

Informaation tulostuksen jälkeen esimerkkikohteen rakennettavuuden arvosana määritettiin menetelmässä I käytettyjen laskentataulukoiden avulla. Laskentatulokset on esitetty taulukossa 4. Rakennettavuuden arvosanan laskenta on esitetty yksityiskohtaisemmin liitteessä 3.

Taulukko 4. Esimerkkikohteen rakennettavuuden arvosana arkkitehtimallista laskettuna.

<i>Arvosana</i>			
	Tunnusluku C_i	Painokerroin W_i	
Pilarit	0,54	0,25	
Palkit	0,38	0,25	
Laatat	0,31	0,25	
Seinät	0,33	0,25	Arvosana
			39,00

Arkkitehtimallin perusteella esimerkkikohteen rakennettavuudeksi saatiin 39,00. Arvosana laskettiin myös tässä analyysissä ilman erityisiä painotuksia, kuten taulukon 4 painokertoimista voidaan nähdä.

Rakennettavuuden arvosanan laskennassa huomioitiin mahdollisuuksien mukaan kaikki samat kantavat rakennusosat kuin menetelmässä I. Suurimpana erona oli perustuksien puuttuminen mallista. Myös kantavien rakennusosien määrä oli arkkitehtimallisissa pienempi kuin tarkastellussa rakennemallisissa. Esimerkiksi palkkien määrä arkkitehtimallisissa oli vain 29 kpl, kun rakennemallisissa erilaisia palkkeja oli yhteensä 109 kpl. Arkkitehtimalli edustaakin aikaisemman suunnitteluvaiheen mallia kuin rakennemalli.

Määriteltyjä painotietoja voitiin hyödyntää ainoastaan pilarien tapauksessa, sillä muut rakennusosat sisälsivät myös muita rakennekerroksia, esim. pintamateriaalitietoja. Betoniosan erittely rakennetyypistä ei onnistunut, joten painojen suuruusluokka-arviointia ei voitu toteuttaa muilla komponenteilla.

7.2.3 Arkkitehtimallin visuaalinen tarkastelu

Arkkitehtimallia tarkasteltiin Solibrilla myös visuaalisesti. Tarkastelussa tutkittiin, min-käläisiä rakennettavuuteen liittyviä tekijöitä arkkitehtimallista voitaisiin määrittää visuaalisen tarkastelun perusteella. Arkkitehtimalliin oli mallinnettu kaikki rakennusosat kalusteita ja asemapiirustusta myöten.

Visuaalinen tarkastelu toteutettiin alla kuvatun listan mukaisessa järjestyksessä. Tarkastelujärjestys luotiin SDBAM-menetelmän mukaisten rakennettavuustekijöiden (kts. luku 2.3.2) pohjalta.

1. Yleistarkastelu

- Rakennuksien yleisilme (perinteinen/poikkeava?)
- Ikkuna- ja julkisivutyypit
- Sijoittuminen tontille
- Ympäristön asettamat mahdolliset haasteet rakennustöille

2. Tasopiirustusten tarkastelu kerroksittain

- Seinälinjojen muoto ja toistuvuus
- Seinien väliset kulmat (suorat/erikoiskulmat?)

3. Rakennusosakohtainen tarkastelu

- Rakennetyypit (tavanomaisia/erikoisia?)
- Kantavien rakennusosien lukumäärä
- Rakennusosien toistuvuus

Vaikka arkkitehtimallin asemapiirros todettiin rakennettavuuden arvosanan laskennan kannalta haitalliseksi, visuaalisessa tarkastelussa siitä on hyötyä. Asemapiirustus auttaa hahmottamaan mm. rakennuksien massoittelua ja sijoittumista ympäristöön. Rakennusten massoittelun tarkastelu tietomallista visuaalisesti on oleellista rakennettavuuden kannalta. Massoittelun avulla nähdään, kuinka korkeita suunnitellut rakennukset ovat suhteessa ympäristöönsä, miten jalankulkijoiden ja ajoneuvoliikenteen sisäänkäynnit rakennuksiin hoidetaan (maantasosta vai korkeammalta/matalammalta) ja miten suuren osan tontista suunnitellut rakennukset kattavat. Arkkitehtimallista voitaisiin siis arvioida alustavasti esimerkiksi työmaajärjestelyiden tilavarauksia jo ennen varsinaista työmaasuunnittelua. Esimerkkikohteen tarkastelussa havaittiin, kuinka neljä rakennusta peittää

lähes koko tontin. Rakentamiselle tulee jäämään siis sitä vähemmän tilaa mitä pidemmälle kohteen rakentaminen etenee. Tämä voidaan huomioida työmaajärjestelyjä suunniteltaessa. Lisäksi asemapiirroksen avulla voidaan huomioida ympäristöstä aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät rakentamiselle. Esimerkiksi rakentaminen raideliikenteen tai koulun läheisyydessä voi aiheuttaa erilaisia ongelmia työmaajärjestelyille.

Ikkuna- ja julkisivutyyppeiden perusteella arkkitehtimallista voidaan arvioida ennen kaikkea julkisivuihin tehtävien ikkuna-aukkojen kokoa ja muotoa. Ikkunamäärien ja -kokojen visuaalisella tarkastelulla saadaan suuntaa-antava käsitys tulevien julkisivuelementtien lukumäärästä ja monimuotoisuudesta. Julkisivutyyppeiden tarkastelulla saadaan käsitys siitä, ovatko rakennuksen julkisivutyypit tavanomaisia vai onko mukana jotain erikoisempia materiaaliratkaisuja tai erikoisefektejä. Myös erilaisten arkkitehtonisten piirteiden, kuten ulokkeiden ja aurinkosuojien arvioiminen mallista visuaalisesti auttaa hahmottamaan kohteen monimuotoisuutta. Yleensä ulokkeiden suuri määrä enteilee huonoa rakennettavuutta. Esimerkkikohtetta tarkasteltaessa ikkunoiden muoto vaikutti tavanomaiselta (suorakaideikkunat), mutta ikkunoiden määrä 230 kpl vaikutti kohtalaisen suurelta. Ikkunoiden määrää tarkasteltiin suodattamalla arkkitehtimallista näkyviin vain ikkunakomponentit. Visuaalisen tarkastelun perusteella kohteeseen oli suunniteltu myös muutamia ulokeparvekkeita.

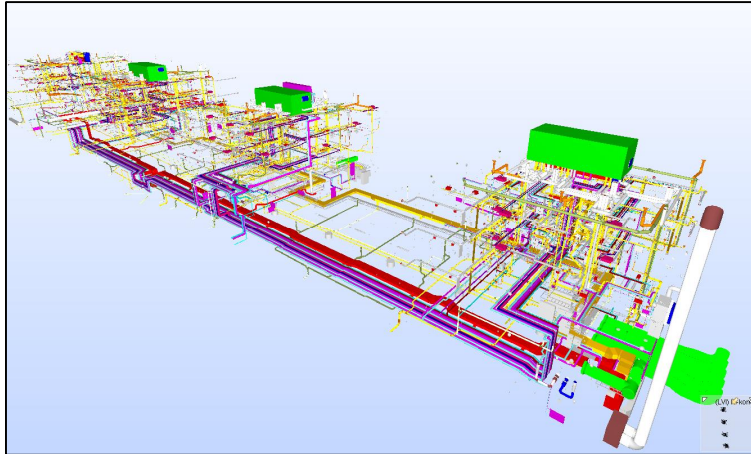
Tutkimalla tasopiirustuksia kerroksittain saadaan käsitys esimerkkikohteen tilojen toimivuudesta ja toteutettavuudesta. Esimerkkikohteen arkkitehtimalliin oli mallinnettu kiintokalusteiden, kuten keittiön kaappien ja wc-istuinten, lisäksi myös huonekaluja havainnollistamaan asuntojen mittakaavaa. Huonekalujen mallintaminen arkkitehtimalliin ei ole rakennettavuuden arvioinnissa oleellista, vaikka niiden avulla helpotetaankin mittasuhteiden hahmottamista. Huonekalujen ja kiintokalusteiden sijaan tasopiirustuksista tulisi tarkastella kantavien ja ei-kantavien seinien linjauksia ja toistuvuutta kerrosten välillä. Lisäksi tasopiirustuksista tulisi tarkastella rakennuksissa esiintyvien kulmien määrää ja laatua. Jos tarkastelukohteessa on paljon sisä- ja ulkoseinien välisiä kulmia, mutta ne ovat suoria (90 astetta), voi kohteen rakennettavuus olla erinomainen. Jos tarkastelukohteessa on paljon erikoiskulmia, kohteen rakennettavuuden voidaan odottaa heikkenevän. Esimerkkikohteen tarkastelussa tasopiirustuksissa havaittiin muutamia erikoispaikkoja, kuten viiston seinän ja suoran seinän liittyminen toisiinsa ja pysäköintihallin ajoluiskan kaareva seinä, jotka vaikuttavat todennäköisesti kohteen rakennettavuuteen heikentävästi, kun kyseessä on asuinkerrostalolle epätyypillinen rakenneratkaisu. Tasopiirustuksia tarkastelemalla saadaan käsitys myös kohteen jänneväleistä. Esimerkkikohteen tasopiirustuksissa mahdollisia pitkiä jännevälejä havaittiin ainoastaan pysäköintihallissa.

Rakennusosakohtaisen tarkastelun avulla saadaan käsitys kohteeseen suunnitelluista rakennetyypeistä ja niiden erityispiirteistä. Rakennettavuuden kannalta on tärkeää selvittää, onko kohteen rakennetyypeissä joitain erikoisratkaisuja, jotka ovat haasteellisempia toteuttaa kuin tavanomaiset ratkaisut. Esimerkkikohteen rakennusosakohtainen tarkastelu toteutettiin suodattamalla kantavien rakenteiden rakennetyypit yksitellen näkyviin. Näin jokaista komponenttityyppiä voitiin arvioida omana ryhmänään. Esimerkkikohteen rakennetyypit olivat pääosin tavanomaisia, mutta joukosta erottui yksi poikkeava rakennetyyppi: desibelikatto. Kantavien rakennusosien toistuvuus osoittautui rakennetyypejä merkittävämmäksi seikaksi rakennettavuuden osalta. Visuaalisessa tar-

kastelussa havaittiin, kuinka kohteen kantavat rakennusosat olivat suurimmalta osalta täysin yksilöllisiä. Havainto tukee myös rakennettavuuden arvosanan laskentatulosta.

7.3 Menetelmä III: Talotekniikkajärjestelmämallin visuaalinen tarkastelu

Talotekniikkamallia tarkasteltiin Solibrilla visuaalisesti. Tutkimuksessa oli käytettävissä Solibrilla tuotettu yhdistelmämalli, joka oli luotu toukokuussa (2013). Yhdistelmämallista poistettiin arkkitehti- ja rakennemallit, jotta tarkastelua voitiin tehdä vain talotekniikkamallille. Kuvassa 12 on esitetty näkymä talotekniikkamallista.



Kuva 12. Talotekniikkamalli Solibrissa. Sisältää lvi- ja sähkösuunnitelmien informaation.

Kirjallisuus- ja haastattelututkimusten perusteella talotekniikkajärjestelmämallista voitaisiin tarkastella visuaalisesti seuraavia taloteknisten järjestelmien rakennettavuuteen positiivisesti vaikuttavia tekijöitä:

- Esivalmistetut osakokoonpanot
 - Tehtaalla eristetyt putket ja kanavat
- Esivalmistetut järjestelmät
 - Tehdasvalmisteiset iv-konehuoneet
- Talotekniikan integrointi
 - Integroitujen osien (esim. jäähdytinpalkit, joissa valaisimet) käyttö

Talotekniikkajärjestelmämallista voidaan tarkastella visuaalisesti myös talotekniikan suurimmat ryhmittymäalueet. Esimerkkikohteen tapauksessa ilmanvaihto keskitetään rakennuskohtaisesti erillisiin ilmanvaihtokonehuoneisiin (vihreät laatikot kuvassa 12), jotka asennetaan rakennusten katoille. Iv-konehuoneiden läheisyydessä on myös suurimmat talotekniikan keskittymät. Rakennusten yhteisessä kellarikerroksessa havaittiin myös yksi merkittävä talotekniikan keskittymä, ns. ”putkimatto”, joka kulkee läpi koko kellarikerroksen. Näiden keskittymien tilavarausten huomioiminen on tärkeää rakennettavuuden arvioinnissa.

Putkieristyksien tuotantotapaa ei voitu määritellä mallista suoraan, mutta suodattamalla mallista näkyviin peite-komponentit, saatiin näkyviin kaikki putket, joihin oli suunniteltu eristys. Näkymän avulla pystyttäisiin arvioimaan, voidaanko tehtaalla eristetyillä put-

kikokoonpanoilla saavuttaa säästöjä eristystyössä. Esimerkkikohteen tapauksessa noin puolet kaikista putkikomponenteista oli suunniteltu eristettäväksi.

Talotekniikkajärjestelmämallin visuaalisen tarkastelun perusteella voidaan arvioida kannattavia iv-konehuoneen toteutustapoja. Mikäli kohteeseen on tulossa keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä, kuten esimerkkikohteen tapauksessa, voi tehdasvalmisteisen konehuonepaketin käyttö olla perusteltua rakennettavuuden edistämiseksi. Tehdasvalmisteisen konehuonepaketin käyttöä voidaan arvioida visuaalisesti myös tarvittavien konehuoneiden määrän perusteella. Esimerkkikohteeseen tulee neljä erillistä iv-konehuonetta. Neljän konehuonepaketin tilaaminen tehtaalta voi olla jo kannattavaa.

Talotekniikan integroinnin hyödyntäminen on vasta tuloillaan alalle. Integrointi tukee kuitenkin hyvin rakennettavuuden arviointimenetelmien ajatusta esivalmistettujen rakennusosien käytöstä ja sen vaikutukset rakennettavuudelle ovat näin ollen positiiviset. Esimerkkikohteen mallissa ei havaittu integroituja komponentteja visuaalisen tarkastelun yhteydessä.

Edellä kuvattujen tekijöiden lisäksi rakennettavuuden arvioinnin kannalta oleellista on tutkia myös talotekniikan yhteensopivuutta suunniteltuihin tiloihin. Seuraavassa luvussa on esitelty, miten rakennettavuutta voidaan arvioida talotekniikan näkökulmasta yhdistelmämallista, jossa on yhdistetty arkkitehti- ja talotekniikkamalli.

7.4 Yhdistelmämallin visuaalinen tarkastelu

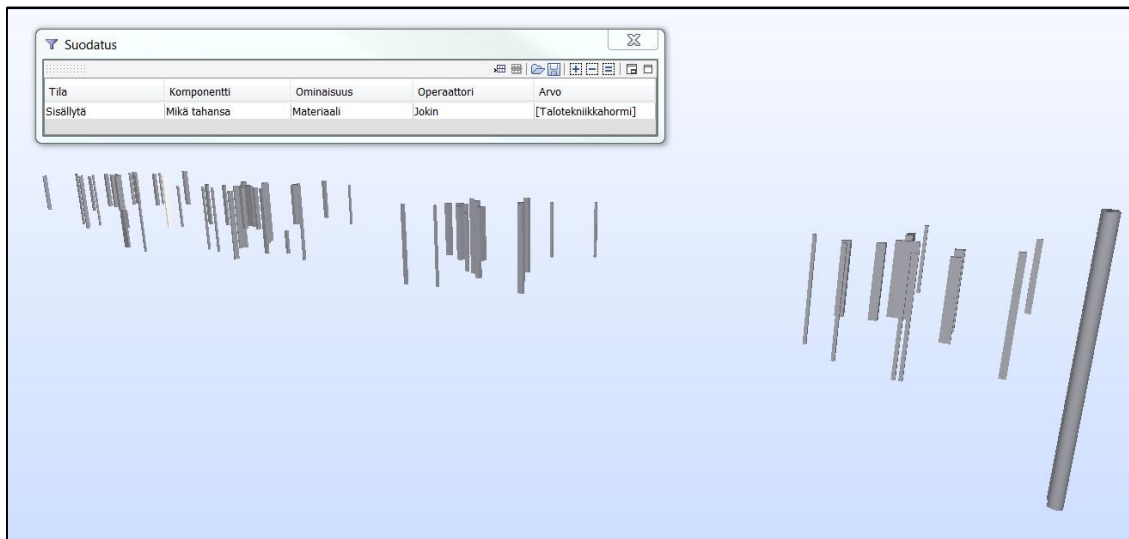
Yhdistelmämallina käytettiin edellisessä luvussa kuvattua mallia, joka sisälsi kaikkien suunnittelualojen mallit. Tässä tutkimuksessa haluttiin keskittyä arkkitehti- ja talotekniikkamallien visuaalisen tarkastuksen mahdollisuuksiin, joten yhdistelmämallista poistettiin rakennemalli kokonaisuudessaan. Mallia tarkasteltiin Solibrin avulla.

Talotekniikkasuunnittelijoiden haastatteluiden perusteella tehokkain tapa tarkastella yhdistelmämallin rakennettavuutta on suorittaa mallille törmäystarkastelu, jonka avulla voidaan arvioida arkkitehti- ja talotekniikkasuunnitelmien yhteensopivuutta. Tässä tutkimuksessa haluttiin kuitenkin selvittää visuaalisia keinoja arvioida rakennettavuutta yhdistelmämallista, joten törmäystarkasteluja mallien välillä ei tehty. Sen sijaan pyrittiin löytämään sellaisia tekijöitä, joiden määrittäminen yhdistelmämallista on mahdollista ja joilla on selkeästi positiivinen vaikutus kohteen rakennettavuudelle. Kirjallisuus- ja haastattelututkimuksen perusteella tällaisia tekijöitä ovat:

- Esivalmistetut osakokoonpanot
 - Hormielementit
- Esteetön sijainti
 - Tekniikka on sijoitettu siten, että sen asennus (ja huolto) onnistuu turvallisesti

Esivalmistettujen rakennusosien ja osakokoonpanojen vaikutusta rakennettavuudelle pidetään useimmissa arviointimenetelmissä positiivisena. Esimerkkikohteen yhdistelmämallin tarkastelussa havaittiin, että arkkitehti oli mallintanut asuntoihin hormielementtejä. Hormielementit saatiin näkyviin suodattamalla yhdistelmämallista kaikki

komponentit, joiden materiaaliksi oli määritetty talotekniikkahormi, kuten kuvasta 13 voidaan nähdä.



Kuva 13. Näkymä SMC-mallista, jossa on suodatettu näkyviin kaikki talotekniikkahormit.

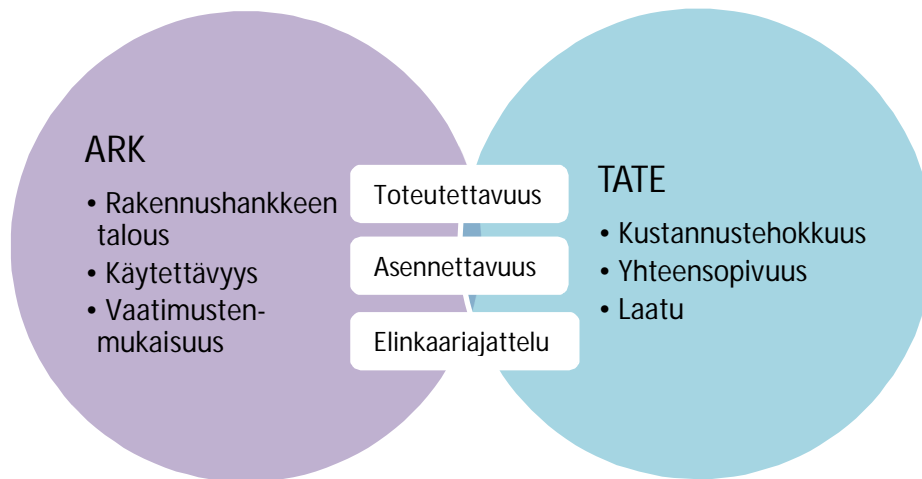
Yhdistelmämallista voidaan tarkastella myös talotekniikan sijoittumista rakennukseen. Tarkastelussa tulisi kiinnittää huomioita siihen, onko talotekniikka sijoitettu asennuksen kannalta mahdolliseen paikkaan. Mikäli talotekniikan asennustyö onnistuu, onnistuu yleensä myös tekniikan vaatimat huoltotyötkin. Talotekniikan sijoittelun arvioinnissa tulisi kiinnittää huomiota myös työturvallisuuteen. Visuaalisen tarkastelun avulla voidaan arvioida myös mahdollisten tehdasvalmisteisten iv-konehuoneiden asennusmahdollisuuksia rakennusten korkeuden ja käytettävissä olevan nostotilan perusteella.

Asennustöiden arvioimiseksi tarkastelun tekijällä on oltava kokemusta ja näkemystä asennuksien toteutustavoista ja tilan tarpeista. Esimerkkikohteen talotekniikan asennettavuutta ei pystytty tästä syystä arvioimaan.

8 Johtopäätökset

8.1 Arkkitehtien ja talotekniikkasuunnittelijoiden väliset erot rakennettavuuden käsitteellisessä tulkinnassa

Arkkitehtien ja talotekniikkasuunnittelijoiden haastatteluissa paljastui, kuinka erilailla nämä kaksi tahoa mieltävät rakennettavuuden käsitteen. Tutkimustulos havainnollistaa hyvin rakennettavuuden käsitteen subjektiivisuutta ja abstraktia luonnetta. Kaaviossa 10 on lueteltu ne käsitteet, jotka yhdistyvät ja eroavat selkeästi arkkitehtien ja talotekniikkasuunnittelijoiden välisessä rakennettavuuden tulkinnassa.



Kaavio 10. Arkkitehtien ja talotekniikkasuunnittelijoiden poikkeavat ja yhtenäiset käsitykset rakennettavuudesta.

Haastattelututkimuksen tuloksien perusteella kumpikaan ammattiryhmä ei tunnista suoraan sanaa rakennettavuus, vaan molemmissa ryhmissä puhutaan enemmän suunnitelmien asennettavuudesta tai toteutettavuudesta. Rakennettavuuskäsitteen perusta oli molempien ammattiryhmien keskuudessa täysin sama: rakennettavuus ymmärrettiin suunnitelmien toteuttamisena siten, että suunnitelmat voidaan toteuttaa työmaalla. Molempien ammattiryhmien haastatteluissa keskusteltiin myös asennettavuudesta, mikä miellettiin molemmissa ryhmissä osaksi rakennettavuutta.

Myös elinkaariajattelu oli näille tahoille yhteinen tekijä. Talotekniikkasuunnittelijat liittivät talotekniikan huollettavuuden osaksi rakennettavuutta, kun arkkitehdit puhuivat elinkaarikestävyydestä koko rakennuksen osalta. Arkkitehtien elinkaariajattelussa korostui rakennuksen käytettävyys. Haastattelujen perusteella arkkitehdit pyrkivät huolehtimaan suunnittelutyössä siitä, että rakennuksista tehtäisiin aikaa kestäviä. Tähän voidaan päästä suunnittelemalla muuntojoustavia ja huollettavia rakennuksia, joihin valitaan kestäviä materiaaleja.

Haastattelututkimuksen perusteella arkkitehdit pitivät rakennushankkeen taloutta yhtenä rakennettavuuden reunaehtona. Talouden merkitys rakennettavuudelle on arkkitehtien näkökulmasta suuri, sillä käytettävissä oleva budjetti asettaa haastattelujen perusteella reunaehdot sille, minkälaisia ratkaisuja arkkitehtisuunnittelussa lähdetään luomaan. Arkkitehti ajattelee taloutta koko rakennuksen näkökulmasta. Talouden merkitys ulottuu arkkitehtien haastattelujen perusteella rakentamisvaiheen loppuun. Talotekniikkasuun-

nittelijat liittivät puolestaan rakennettavuuden käsitteeseen termin kustannustehokkuus. Kustannustehokkuudella tarkoitettiin taloteknisten suunnitelmien toteuttamista niin, että suunnitteluratkaisuissa on huomioitu myös järjestelmän käytönaikaiset kustannukset. Molemmat ammattiryhmät liittivät siis talouden osaksi rakennettavuutta, mutta eri näkökulmista.

Käytettävyys ja vaatimustenmukaisuus olivat arkkitehtien käyttämiä termejä, jotka erosivat selkeästi sekä talotekniikkasuunnittelijoiden että aiemmin tutkittujen (Mero, 2012) rakennesuunnittelijoiden rakennettavuuteen liitetystä käsitteestä. Ainoastaan arkkitehdit määrittivät rakennettavuuden käytettävyyden ja vaatimustenmukaisuuden kautta. Arkkitehdin rakennettavuuden määrittely näiden termien avulla vaikuttaa melko luonnolliselta, kun termejä peilataan arkkitehdin rooliin usein kohteen pääsuunnittelijana. Pääsuunnittelijan tehtävä on huolehtia, että tehdyillä suunnitelmilla voidaan osoittaa rakentamiselle asetettujen vaatimusten täyttyminen. Arkkitehtisuunnittelussa on myös perinteisesti korostunut muita suunnittelualoja selkeämmin käyttäjän huomioiminen suunnittelussa, mikä juontaa juurensa arkkitehtuuri-käsitteen määrittelystä.

Talotekniikkasuunnittelijat liittivät, arkkitehdeista poiketen, rakennettavuuden käsitteeseen termit yhteensopivuus ja laatu. Yhteensopivuudella tarkoitettiin taloteknisten järjestelmien keskinäistä yhteensopivuutta ja järjestelmien yhteensopivuutta rakenne- ja arkkitehtisuunnitelmiin. Talotekniikan suunnittelussa yhteensovittaminen muihin järjestelmiin onkin keskeisessä roolissa, mikä selittää termin käytön osana rakennettavuuden käsitettä. Suunnittelun ja suunnitelmien laatu koettiin yhdeksi rakennettavuuden osaksi, mikä vastaa hyvin ”buildability”-termin lähtökohtia.

8.2 Rakennettavuuden arvioinnin toteutus arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelussa

Haastattelututkimuksen tuloksena voidaan todeta, ettei rakennettavuuden arviointia toteuteta vielä järjestelmällisesti kummankaan suunnittelualan osalta. Verrattaessa suunnittelualojen toimintatapoja keskenään, on talotekniikan puolella toiminta järjestäytyneempää kuin arkkitehtisuunnittelussa.

Talotekniikkasuunnittelijoiden haastatteluissa kuvailtiin selkeitä toimintatapoja: sisäiset tarkastuslistat sekä yhdistelmämallin ja 2D-piirustusten tarkastukset, joiden avulla rakennettavuutta arvioidaan. Haastatteluissa kerrottiin myös, minkälaisia asioita suunnitelmista tarkastellaan rakennettavuuden arvioimiseksi. Näitä asioita olivat mm. riittävien tilavarausten tarkistus, törmäysten tarkastelu sekä huollettavuuden ja asennettavuuden huomioiminen. Vaikka talotekniikkasuunnittelussa vaikuttaa olevan työvälaineitä (yhdistelmämalli) ja -menetelmiä (tarkastuslistat) rakennettavuuden arviointiin, jää arviointi haastattelujen perusteella täysin suunnittelijan ammattitaidon ja kokemuksen varaan. Rakennettavuuden arviointia ei toteutetakaan järjestelmällisesti toimialalla, sillä jokainen suunnittelija arvioi suunnitelmien rakennettavuutta omaan kokemukseensa nojautuen.

Arkkitehtien haastatteluissa ei selvinnyt mitään konkreettisia keinoja sille, miten arkkitehti arvioisi yksinomaan arkkitehtisuunnitelmien rakennettavuutta. Sen sijaan haastatteluista ilmeni, kuinka arkkitehdit arvioivat suunnittelukohteen rakennettavuutta kokonaisuutena yhteistyössä muiden suunnittelijoiden ja rakentajan kanssa. Arkkitehti arvioi suunnitelmien rakennettavuutta tarkastelemalla, toteutuuko suunnitelmissa tilaohjelma

ja talotekniikan vaatimat tilavaraukset. Myös arkkitehtien haastatteluissa korostui kokemuksen merkitys rakennettavuuden arvioinnille: arviointi perustuu haastattelujen perusteella täysin arkkitehdin ammattitaitoon ja kokemukseen rakentamisesta.

Haastattelutulosten perusteella voidaan todeta, että arkkitehdit huomioivat rakennuskohteen rakennettavuutta suunnitelmien yhteensovittamisen kautta, kun varsinaisten rakenn- ja taloteknisten järjestelmien rakennettavuuden arviointi jää näistä vastaaville suunnittelualoille. Sekä arkkitehtien että talotekniikkasuunnittelijoiden haastatteluissa mainittiin, kuinka suunnitelmien yhteensovittaminen on puutteellista. Suunnitelmien yhteensovittamisen parantamiseksi suunnittelijoiden välistä yhteistyötä tulisi tehostaa ja yhteistyötä yhdistelmämallien tarkasteluissa tulisi lisätä.

Arkkitehtien ja talotekniikkasuunnittelijoiden haastatteluissa kävi molemmissa ilmi, kuinka lähtötietojen saaminen oikeaan aikaan suunnittelun tueksi on myös ongelmallista. Arkkitehti- ja rakennesuunnittelun lähtötiedot talotekniikalle tulevat usein liian myöhään ja toisaalta taas taloteknisten järjestelmien tilavarauksia joudutaan odottamaan arkkitehtisuunnittelussa pitkään. Lähtötietojen saatavuutta oikeaan aikaan voisi auttaa sekä suunnittelun parempi integrointi että suunnittelunohjaus. Rakennettavuuden arvioinnin tehokkaassa toteuttamisessa suunnittelunohjauksen merkitys korostuu.

Haastattelututkimuksen tuloksista on huomioitava, että kaikki haastatellut arkkitehdit olivat toimitusjohtajia tai päälliköitä, jotka eivät enää olleet mukana päivittäisessä projektityössä. Tämä voi olla yksi syy siihen, minkä takia arkkitehtihaastatteluissa ei tullut ilmi konkreettisia rakennettavuuden arviointitekijöitä. Jos tutkimuksessa olisi haastateltu lisäksi myös projektiarkkitehteja, olisivat tutkimustulokset voineet olla erilaiset.

8.3 Tietomallintamisen käyttö rakennettavuuden arvioinnissa

Tutkimustulosten perusteella tietomallinnus mahdollistaa rakennettavuuden arvioinnin, kun tietomallit on tuotettu oikein ja tarkasti. Yhdistelmätietomalli on apuväline, jota hyödynnetään tällä hetkellä arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelussa rakennettavuuden arviointityökaluna. Arviointi perustuu lähinnä mallien visuaaliseen tarkasteluun ja tör- mäystarkastelujen tekemiseen. Järjestelmällistä tapaa tarkastella tietomalleja rakennettavuuden näkökulmasta ei vielä ole kehitetty.

Haastatellut pitivät tietomalliohjelmistoja vielä liian vaikeina käyttää. Ohjelmistojen huonoa käytettävyyttä voidaan siis pitää osittain esteenä tietomallipohjaisten arviointityökalujen kehittämiseksi. Myös tietomallinnuksen vaatima työmäärä rajoittaa ohjelmistojen kokonaisvaltaisen hyödyntämisen, kun suunnittelun resurssit käytetään ns. perusmallinnukseen. Jotta tietomalleja voitaisiin hyödyntää tehokkaasti rakennettavuuden arviointityökaluina, tulee ohjelmistojen käyttäjäystävällisyyttä parantaa.

8.4 Esimerkkikohteen rakennettavuus

Luvussa 7.1 esitellyn esimerkkikohteen rakennettavuusanalyysin tulosten perusteella kohteen rakennettavuus on kohtalaisen huono. Laskentatulokset tukevat hyvin kohteen vastuuhenkilöiden haastattelutuloksia, missä jokainen haastateltu osapuoli kertoi hankkeen olevan normaalia asuinkerrostalokohdetta vaativampi. Laskentatulosta voidaan myös verrata Laakson diplomityössään (Laakso, 2012) suorittamiin laskelmiin, jossa oli laskettu mm. kolmen asuinkerrostalokohteen rakennettavuuden arvosanat. Kohteiden vertailu ja perustiedot kohteista on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kvantitatiivisella mittausmenetelmällä laskettujen esimerkkikohteiden rakennettavuuden arvosanat. [5]

Kohde	Perustiedot	Rakennettavuuden arvosana
Case 4	<i>Kerrosten lkm:</i> 8 <i>Kantavat rakenteet:</i> betonielementit <i>Perustukset:</i> paalut <i>Pysäköinti:</i> pysäköintirakennus asuintalon kyljessä <i>Muuta:</i> 1. krs varattu toimitiloiksi	79,09
Case 5	<i>Kerrosten lkm:</i> 5 <i>Kantavat rakenteet:</i> betonielementit <i>Perustukset:</i> seinäanturat <i>Pysäköinti:</i> - <i>Muuta:</i> Puurakenteiset kattotuolit	83,46
Case 6	<i>Kerrosten lkm:</i> 4 + 4 <i>Rakenteet:</i> betonielementit <i>Perustukset:</i> seinäanturat <i>Pysäköinti:</i> erillinen pysäköintikatos <i>Muuta:</i> PV-väestönsuoja, kaksi erillistä rakennusta	83,16
Case-kohde	<i>Kerrosten lkm:</i> 4 + 4 + 4 + 4 <i>Rakenteet:</i> betonielementit + paikallavalue <i>Perustukset:</i> paalut, maanvarainen <i>Pysäköinti:</i> rakennusten alapuolella <i>Muuta:</i> neljä erillistä rakennusta, liiketiloja katu- tasossa	54,00

Vertailussa nähdään, kuinka esimerkkikohteen arvosana on heikompi kuin Laakson tarkastelemien kerrostalokohteiden arvosanat. Laakson tutkimat asuinkerrostalot edustivat esimerkkikohteeseen verrattuna ns. normaalikohteita.

Esimerkkikohteen heikko rakennettavuus voidaan kiteyttää laskentatulosten ja haastatteluiden perusteella yhteen seikkaan: toistuvuuden puuttumiseen. Toistuvuus puuttuu sekä rakenneosista että liitoksista, mikä vaikuttaa rakennettavuuteen heikentävästi. Laakson laskentamenetelmää sovellettaessa huomattiin, kuinka paljon erilaisia elementtejä kohteeseen tulee. Pituus- ja painojakaumia tarkasteltaessa havaittiin, ettei jakaumia pysty tarkastelemaan häiriöpituuksien mukaan, sillä lähes kaikki elementit ja rakennusosat olivat eripituisia ja -painoisia. Kohde koostuu enimmäkseen yksilöllisistä elementeistä ja paikallavalueosista. Kaaviossa 8 (s. 52) on esitetty esimerkki palkkien pituusjakaumasta. Erilaisten profiilien lukumääriä jaoteltuna rakennusosaryhmittäin on esitetty liitteessä 4.

Vaikka kohteen rakennettavuusanalyysi antaa heikon tuloksen, on esimerkkikohteen toteutettavuuteen kuitenkin selkeästi yritetty panostaa hyödyntämällä kokonaisvaltaista tietomallinnusta sekä suunnittelussa että työmaan toiminnoissa. Haastattelutulosten mukaan tietomallipohjainen suunnittelu on selkeästi parantanut suunnitelmien laatua ja ennaltaehkäissyt tilanteita, joissa työmaalla jouduttaisiin tekemään suunnitelmista poikkeavia ratkaisuja. Tietomallien hyödyntäminen työmaalla on auttanut toisaalta myös työmaaorganisaatiota hahmottamaan suunnitteluratkaisut osana kokonaisuutta ja helpot-

tanut näin ratkaisujen noudattamista. Tietomallinnus on myös selkeyttänyt asennustöiden toteuttamista. Tietomallinnus on näin ollen mahdollistanut rakennettavuudeltaan haastavan kohteen toteutuksen.

8.5 Menetelmän I soveltuvuus rakennettavuuden arviointiin

Laakson laskentamenetelmä oli kehitetty tutkittujen esimerkkikohteiden pohjalta, joissa kaikissa oli pääasiallisesti betonielementtirunko. Laskentamenetelmä keskittyykin betonielementtien rakennettavuustekijöihin (elementtien painot, pituudet, aukotukset yms.), eikä se ota huomioon tuotantotekniikan vaikutusta riittävästi. Laskentamenetelmää pyrittiin kuitenkin soveltamaan siten, että paikallavalurakenneseosien rakennettavuuden tunnusluvut eivät turhaan vääristyisi. Esimerkiksi laattarakenteiden osalta paikallavaluosiin kuvaava suhdeluku (R_i) olisi ollut esimerkkikohteen välipohjalaattojen osalta 1, sillä kohteessa oli paikallavaluvälipohjat. Paikallavaluvälipohjien vaikutus rakennettavuudelle olisi siis ollut laskentamenetelmän mukaan erittäin haitallinen. Tämä ei kuitenkaan esimerkkikohteen tapauksessa pidä paikkaansa, sillä kohteen toimijat olivat päätyneet paikallavaluvälipohjiin. Tämän takia paikallavaluosiin merkitystä rakennettavuuden tunnusluvulle pidettiin laskennassa erittäin hyvänä ($R_i = 0$). Samanlaista menettelyä sovellettiin myös paikallavalurakenteiden painoihin.

Vaikka laskentamenetelmässä on puutteita tuotantotekniikan vaikutusten huomioimisessa rakennettavuudelle, on sen antama rakennettavuuden arvosana kuitenkin yllättävän totuudenmukainen. Laskettu arvosana on hyvin linjassa haastateltujen vastuuhenkilöiden arvioiden kanssa kohteen vaativuudesta. Huomionarvoista on myös se, että esimerkkikohteen vastaava työnjohtaja arvotti rakennettavuudeltaan parhaat asuinkerrostalokohteensa arvosanavälille 80–85, mikä vastaa hyvin Laakson tarkastelemien asuinkerrostalokohteiden rakennettavuuden arvosanoja (kts. taulukko 5). Laskentamenetelmän soveltamisen esimerkkikohteen rakennettavuuden arvosanan määrittämiseen voidaan siis katsoa onnistuneen kohtalaisen hyvin havaituista menetelmän puutteista huolimatta.

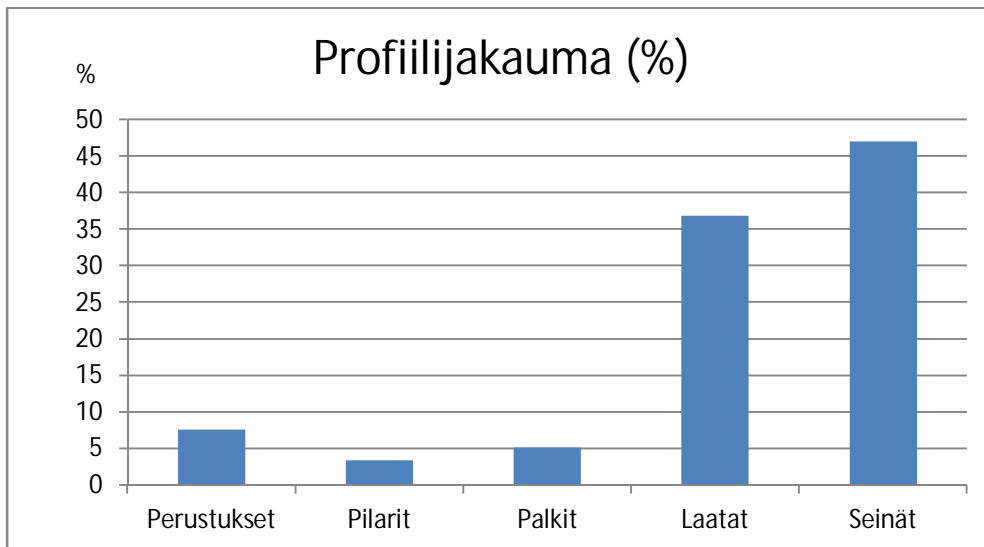
Rakennettavuusanalyysin perusteella Laakson laskentamenetelmän mittausmetodiikka on toimiva, mutta menetelmän soveltuvuus tulisi arvioida aina kohdekohtaisesti. Erityisesti tuotantotekniikan vaikutuksia laskentaan tulisi vielä kehittää. Koska laskentamenetelmä edellyttää rakennemallia, johon on mallinnettu kaikki kantavat rakenteet ja tarvittavat aukotukset, soveltuu menetelmä vasta toteutusvaiheen (YTV 2012) rakennettavuuden arviointiin.

8.6 Menetelmä II ja arkkitehtimallin hyödyntäminen rakennettavuuden arvioinnissa

Tehtyjen tarkastelujen perusteella arkkitehtimallista voidaan tehdä alustavia arvioita rakennuskohteen rakennettavuudesta. Esimerkkikohteen rakennettavuuden arvosanaksi saatiin Laakson laskentamenetelmällä 39,00. Tulos on melko hyvin linjassa rakennemallin laskentatuloksen ja tehtyjen haastatteluiden kanssa, vaikka tulos onkin heikompi kuin rakennemallista laskettu arvosana. Kun huomioidaan, että laskentamenetelmästä pystyttiin hyödyntämään pääasiallisesti vain kahta mittauskriteeriä (rakennusosien profiilit ja pituudet), voidaan laskentatulosta pitää ainoastaan alustavana arviona.

Arkkitehtimallista ei perinteisesti ole ollut tapana laskea palkkien tai pilarien määriä. Arkkitehdillä ei usein edes ole tarvittavaa tietoa palkkien ja pilarien lopullisista raken-

teellisistä mitoista tai liittymistä muihin rakenteisiin. YTV 2012 -ohjeistuksessa mainitaankin, ettei palkkien tai pilarien tarvitse olla arkkitehtimallissa absoluuttisen oikein mallinnettu. Näin ollen pilari- ja palkkirakenteiden vaikutusta rakennettavuudelle ei pystytä arvioimaan arkkitehtimallista samassa laajuudessa kuin rakennemallista. Tämä on suurin häirtetekijä arkkitehtimallin hyödyntämisessä rakennettavuuden arviointityökaluna. Tietomallipohjaisen arviointimenetelmän kehittämisessä tulisikin arvioida, mikälainen merkitys palkki- ja pilarirakenteilla on kohteen rakennettavuudelle kokonaisuudessaan. Esimerkkikohteen tapauksessa seinä- ja laattaprofiilit muodostivat valtaosan koko kohteen rakennusprofiileista. Palkki- ja pilariprofiilien osuus kaikista profiileista oli alle 10 %:a, kuten kaaviosta 11 voidaan havaita. Esimerkkikohteen alustavat rakennettavuusarviot voidaan siis toteuttaa melko luotettavasti myös arkkitehtimallin perusteella.



Kaavio 11. Esimerkkikohteen rakennusosien profiilijakauma.

Rakennettavuuden arviointi arkkitehtimallista vaatii karkean laskennan tueksi myös kvalitatiivisten rakennettavuustekijöiden arviointia. Arkkitehtimallin visuaalinen tarkastelu luvussa 7.2.3 esiteltyjen tekijöiden mukaisesti auttaa konkretisoimaan laskentatulosta ja hahmottamaan rakennettavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Visuaalisen tarkastelun suorittajalla on kuitenkin oltava laaja kokemus rakentamisesta ja hyvä käsitys rakennusprojektin tavoitteista. Projektin ulkopuolisen henkilön on vaikea suorittaa rakennettavuuden arviointia.

Arkkitehtimallin tarkastelu rakennettavuuden näkökulmasta on mahdollista jo yleissuunnitteluvaiheessa, kun arkkitehtimalli edustaa ns. rakennusosamallia. YTV 2012 -ohjeiden mukainen yleissuunnitteluvaiheen arkkitehtisuunnittelun rakennusosamalli sisältää seuraavat tiedot rakennusosittain lueteltuna [25]:

- Seinät
 - Jaoteltuna ulkoseiniin ja kantaviin ja kevyisiin väliseiniin Talo 2000 nimikkeistön kaltaisten tyyppimerkintöjen mukaisesti
 - Liittymämittojen mukaiset mittatiedot

- Laatat
 - Tyypittietoineen tai nimettynä esimerkiksi Talo 2000 -nimikkeistön mukaisesti
 - Liittymämittojen mukaiset mittatiedot
- Palkit ja pilarit
 - Palkit mallinnettuna vain laatan alapuolisilta osiltaan
 - Pilarit mallinnettuna ulkomitoiltaan sisältäen pintarakenteen
 - Tyypittietoineen tai nimettynä esimerkiksi Talo 2000 -nimikkeistön mukaisesti
- Ovet ja ikkunat
 - Toiminnallisesti erilaiset perustyyppit ja niiden vaatimukset mallinnettu tunnistettaviksi (esim. palo-ovi nimetty palo-oveksi)
 - Nimellismitotetut komponentit
- Portaat
 - Tyypittietoineen tai nimettynä esimerkiksi Talo 2000 -nimikkeistön mukaisesti
 - Lepo-, kerros- ja porrastasot voidaan mallintaa laattoina

Lisäksi YTV 2012 -ohjeiden mukainen arkkitehtimalli sisältää sisäkatot, kiintokalusteet ja suunnitelmiin sisältyvät laitteet tyypittietoineen. Rakennusosamalli sisältää myös tilatiedot, mutta yleissuunnitteluvaiheessa tiloihin ei tarvitse liittää pintojen materiaali-tietoja. Arkkitehtimalliin ei yleensä mallinneta myöskään perustuksia. [25.]

Yleissuunnitteluvaiheen rakennusosamalli sisältää siis kaikki sellaiset rakennusosatiedot, joiden avulla voidaan tehdä rakennettavuuden alustavaa arviointia. Aikaisemmissa tutkimuksissa rakennettavuuden arviointimenetelmiä on kehitetty kuitenkin keskittyen pääasiassa rakennusrungon arviointiin rakennemallin avulla. Tämä tutkimus osoittaa, että rakennettavuuden alustava arviointi onnistuu myös arkkitehtimallista, mikä mahdollistaa rakennettavuuden arvioinnin toteuttamisen aikaisemmassa suunnitteluvaiheessa. Usein arkkitehtimalli on käytettävissä ennen rakennemallin valmistumista, jolloin on perusteltua arvioida rakennettavuutta arkkitehtimallista.

Jotta rakennettavuutta voidaan arvioida arkkitehtimallista, tulee tietomalli olla oikein ja laadukkaasti tuotettu. Rakennettavuuden arvioinnissa korostuu erityisesti objektien johdonmukaisen nimeämisen tärkeys ja hyvän mallinnustavan noudattaminen. Yleisten tietomallivaatimusten 2012 julkaisu tulee todennäköisesti parantamaan edelleen tietomallinnuksen laatua lähitulevaisuudessa, mikä helpottaa myös rakennettavuuden tietomallipohjaisen arvioinnin kehitystä.

8.7 Menetelmän III soveltuvuus rakennettavuuden arviointiin

Tehdyn tutkimuksen perusteella taloteknistä tietomallia voitaisiin hyödyntää myös rakennettavuuden arvioinnissa, mutta laskentamenetelmää tähän tarkoitukseen ei ole vielä kehitetty. Myös talotekniikkamallin visuaalinen tarkastelu vaatisi jatkokehitystä. Tässä tutkimuksessa esitelty rakennettavuustekijät voisivat toimia pohjana kehitystyölle.

9 Kehitysehdotukset

9.1 Arviointimenetelmien sovellusmahdollisuudet

Tutkimuksessa esiteltyjen ulkomaisten arviointimenetelmien sovellusmahdollisuuksia Suomen olosuhteisiin tulisi tutkia tarkemmin. CAS-menetelmän soveltaminen Suomen olosuhteisiin voisi alustavien tarkastelujen perusteella olla mahdollista. Pisteytystä tulisi kuitenkin arvioida Suomen rakennusteollisuuden tavoitteiden mukaisesti. Esimerkiksi paikallavalurakentamisella voisi olla Suomen olosuhteet huomioon ottaen positiivisempi vaikutus pisteytykseen kuin Singaporen laskentamenetelmässä.

Myös SDBAM-menetelmän soveltamista Suomen rakennusteollisuuden käyttöön tulisi tutkia. Menetelmä vaikuttaa rakenteellisesti sopivalta työkalulta, kun menetelmässä käytetyt suunnittelupäätökset ja pisteytys sovitetaan vastaamaan Suomessa vallitsevia käsityksiä menetelmään soveltuvista suunnittelupäätöksistä ja niiden painotuksista. Alustavien tarkastelujen perusteella suurin osa menetelmän suunnittelupäätöksistä voisi sopia Suomen olosuhteisiin. Myös arvosana-asteikon muuttaminen vastaamaan suomalaisia kouluarvosanoja, esimerkiksi 4-10, olisi järkevää asteikon käytettävyyden kannalta.

SDBAM- ja BAM-menetelmässä voidaan kuitenkin havaita yksi iso puute: talotekniikan vaikutusten huomioiminen rakennettavuudelle. Kummassakin menetelmässä talotekniikan osuus rakennettavuuteen vaikuttavista tekijöistä kattaa vain murto-osan rakennettavuuden arvosanasta. Talotekniikan vaikutusten aliarvioiminen rakennettavuudelle on myös BDAS-menetelmän heikkous. Kaikissa arviointimenetelmissä painotetaan rakennusrungon vaikutusta rakennettavuudelle. Rakennusrungon merkitys rakentamisen toteuttamiselle ja siten myös rakennuskustannuksille on toki merkittävä, mutta jos järjestelmien kustannusosuuksia verrataan koko rakennuksen elinkaarenaikaisiin kustannuksiin, talotekniikka nousee merkittävämmäksi tekijäksi. Arvosanan muodostumista talotekniikka- ja rakennejärjestelmien välillä tulisikin tutkia tarkemmin ja ottaa huomioon myös talotekniikan vaikutukset rakennettavuudelle.

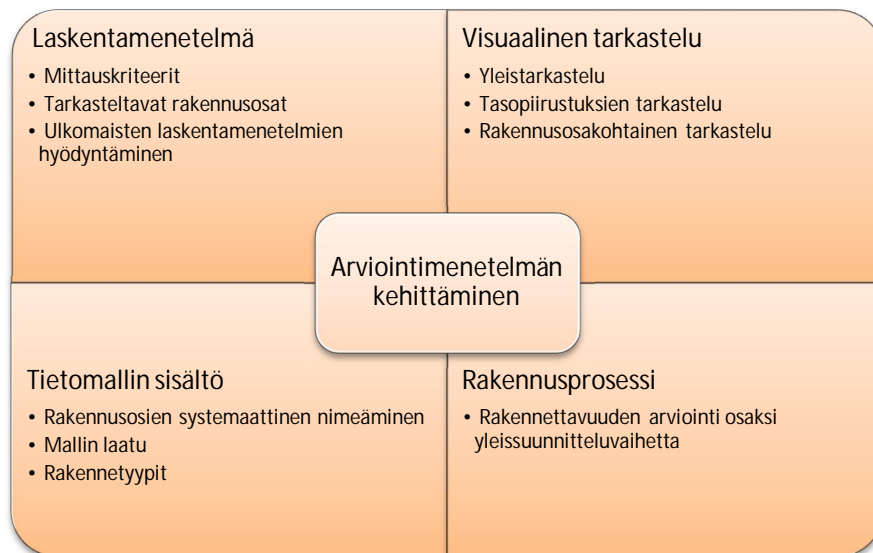
9.2 Tietomallin tarkastusohjelman hyödyntäminen rakennettavuuden arvioinnissa

Tulevaisuudessa rakennettavuuden arviointi voisi perustua sääntöpohjaisella mallintarkastusohjelmalla toteutettavaan automatisoituun tarkastukseen. Esimerkiksi SMC-ohjelmalla voitaisiin luoda oma säännöstö, joka arvioisi yhdistelmämallin rakennettavuustekijöitä. Teknisesti oman säännöstön luominen SMC-ohjelmaan on jo mahdollista. Ainoastaan tarkastettavat rakennettavuustekijät tulisi määritellä.

Säännöstöä voisi kehittää Laakson laskentamenetelmän pohjalta. Rakennettavuustekijät voisivat olla tarkastussäännöstössä osittain samoja kuin Laakson mittausmenetelmässä käytetyt parametrit, kuten perustusten korkoerot ja elementtien painot. Ennen yhdistelmämallille suoritettua rakennettavuuden arviointitarkastelua jokaisen suunnittelualan olisi hyvä tehdä omien malliensa tarkastus niille luoduilla omilla rakennettavuuden arviointisäännöstöillä. Tietomallien laadunvarmistamisen nopeuttamiseksi nykyisillä käytännöillä olisi kannattavaa, että jokainen suunnitteluala toteuttaisi oman alan mallintarkastuksen jollain mallintarkastusohjelmistolla.

9.3 Tietomallipohjaisen arviointimenetelmän kehittäminen rakennettavuuden arvioimiseksi arkkitehtimallista

Arkkitehtimallin kokonaisvaltaiseksi hyödyntämiseksi rakennettavuuden arvioinnissa tulisi kehittää tietomallipohjainen arviointimenetelmä. Tässä tutkimuksessa saatiin määritettyä yksi tapa toteuttaa arviointia visuaalisesti ja alustavan laskentamenetelmän avulla. Tarkemman arviointimenetelmän kehittäminen vaatisi kuitenkin vielä lisätutkimusta. Arviointimenetelmän kehitystyössä huomioitavia tekijöitä on koottu yhteen kaavioon 12.



Kaavio 12. Arkkitehtimallia hyödyntävän rakennettavuuden arviointimenetelmän kehittämisessä huomioitavia asioita.

Arkkitehtimallin kvantitatiivisia mittauskriteerejä tulisi kehittää lisää. Mittauskriteerit voisivat perustua BDAS-menetelmässä esiteltyjen kaltaisiin arviointikriteereihin, kuten tiettyjen rakennusosien pinta-alojen osuuksiin koko rakennuksen pinta-alasta. Esimerkiksi ikkuna- ja julkisivutyypin vaikutusta koko rakennuksen rakennettavuudelle voitaisiin arvioida näin. Koska arkkitehtimallin rakennusosamalli perustuu aiemmin tuotettuun tilamalliin, olisi erilaisten pinta-alatietojen hyödyntäminen arvioinnissa luontevaa. Rakennettavuuden arviointimahdollisuuksia tilatyyppejen perusteella tulisi myös tutkia.

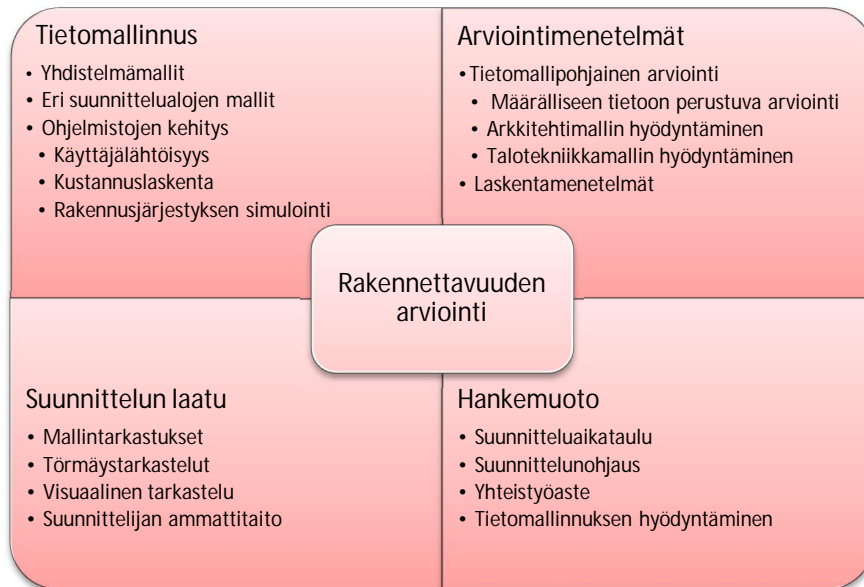
Visuaalisen tarkastelun sisältö tulisi määrittää useimmille rakennustyypeille sopivaksi. Tässä tutkimuksessa esitelty tarkastelu on mukautettu asuinkerrostalokohteelle. Tosin tarkastelu on melko yleisluontoinen, joten listan mukaista tarkastelua voisi soveltaa ainakin toimisto- ja liikerakennuksille.

Jotta rakennettavuuden arviointi arkkitehtimallista olisi mahdollista, tulee arkkitehtimallin olla laadultaan hyvä. Rakennusosat tulee olla nimetty systemaattisesti niin, että tarvittavan informaation kerääminen mallista on mahdollista. Arkkitehtimallista saatavat rakennetyyppitiedot ovat oleellisia rakennettavuuden arvioinnille, joten rakennetyypin nimeämiseen tulisi myös kiinnittää huomiota. Arkkitehtimallin on oltava valmis rakennusosamalli, joka sisältää myös asemapiirustuksen. Mallin ei tarvitse sisältää huonekaluja.

Tietomallipohjaista arviointimenetelmää tulisi kehittää niin, että rakennettavuuden arviointi olisi mahdollista viimeistään yleissuunnitteluvaiheessa. Nykyisillä hankemuodoilla ja yleisillä tietomallivaatimuksilla rakennusosamallit toteutetaan yleissuunnitteluvaiheessa, jolloin rakennettavuuden arviointimenetelmää olisi mahdollista käyttää. Rakennettavuuden arviointi olisi saatava kiinteäksi osaksi yleissuunnitteluvaihetta, jolloin voidaan vielä tehdä muutoksia rakennettavuuteen vaikuttaviin suunnitteluratkaisuihin. Arkkitehtimallin perusteella laskettua rakennettavuuden arvosanaa tulisi pitää alustavana arviona, jonka avulla voidaan tehdä rakennettavuutta edistäviä päätöksiä.

10 Yhteenveto

Tutkimustulosten perusteella rakennettavuuden arviointiin arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelussa vaikuttavat tällä hetkellä neljä suurta osa-aluetta: tietomallinnus, arviointimenetelmät, suunnittelun laatu ja hankemuoto. Osa-alueita on kuvattu kaaviossa 13.



Kaavio 13. Rakennettavuuden arviointiin vaikuttavat osa-alueet.

Tutkimuksen perusteella tietomalli on hyvä työkalu rakennettavuuden arviointiin. Tällä hetkellä yhdistelmä-tietomalli on yksi järkevä väline rakennettavuuden arviointiin. Tulevaisuudessa tietomallipohjaisia rakennettavuuden arviointimenetelmiä tulisi kehittää edelleen ja hyödyntää yhdistelmämallin lisäksi myös yksittäisiä, eri suunnittelualueiden malleja. Lisäksi tietomallinnuksen hyödyntäminen rakennettavuuden arviointityökaluna vaatii vielä ohjelmistokehitystä. Ohjelmistojen tulisi olla käyttäjäystävällisempiä. Talotekniikan kustannuslaskentaan tulisi myös kehittää ohjelmistoja, jotta rakennettavuuden arviointiin saataisiin mukaan myös kustannusnäkökulma. Rakennusjärjestyksen simulointi luo myös hyvät edellytykset rakennettavuuden arvioinnille.

Tutkimuksen perusteella rakennettavuuden arviointia ei toteuteta vielä arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelussa järjestelmällisesti. Syitä tähän ovat mm. tietämättömyys rakennettavuuden merkityksestä ja arviointimenetelmien puute. Vaikka arviointia ei toteuteta vielä järjestelmällisesti, toteuttavat arkkitehdit ja talotekniikkasuunnittelijat kuitenkin tietämättään rakennettavuuden arviointia osana suunnittelun laadunvarmistustyötä. Haastattelujen perusteella monet suunnitelmien laadunvarmistustoimenpiteet, kuten visuaaliset mallintarkastukset ja törmäystarkastelut, ovat keinoja edistää rakennettavuutta. Arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelijoiden haastatteluissa ilmeni, kuinka suunnittelijan ammattitaito on olennainen osa rakennettavuudeltaan hyvien suunnitelmien tuottamista. Molempien ammattiryhmien mielestä tietämystä rakennettavuudesta tulisi lisätä esimerkiksi koulutuksen kautta.

Rakennettavuuden arviointimenetelmiä on kehitetty toistaiseksi vain rakennusrungon rakennettavuuden arvioimiseksi rakennemallista. Tämä tutkimus osoittaa, että rakennet-

tavuutta voidaan arvioida myös arkkitehtimallista. Lähitulevaisuudessa arkkitehtimallien hyödyntämistapoja tulisi kehittää edelleen, sillä arkkitehtimalli mahdollistaa rakennettavuuden arvioinnin aikaisemmassa suunnitteluvaiheessa kuin rakennemalli. Tutkimustulosten mukaan rakennettavuutta on kannattavaa arvioida heti rakennusprojektin alussa. Myös talotekniikkamallien hyödyntämismahdollisuuksia rakennettavuuden arviointiin tulisi tutkia. Tätä ennen tulisi kuitenkin selvittää talotekniikan vaikutuksia rakennettavuudelle. Tietomallipohjaisten rakennettavuuden arviointimenetelmien vahvuutena voidaan pitää määrälliseen tietoon perustuvaa arviointia, joka mahdollistaa objektiivisemmän rakennettavuuden arvioinnin.

Rakennettavuuden arvioinnin toteuttamisen edellytykset muodostuvat tutkimuksen mukaan pitkälti hankemuodon perusteella. Haastattelutulosten mukaan tiukat suunnittelu-aikataulut vaikeuttavat suunnittelun laadunvarmistusta, mikä vaikeuttaa myös rakennettavuuden arviointia. Perinteiset urakkamuodot eivät tue yhteistyötä osapuolien välillä, eivätkä ne näin ollen tue rakennettavuuden arvioinnin järjestelmällistä toteuttamista. Uudet sopimusmallit, kuten IPD- (Integrated Project Delivery) sekä allianssi- ja lean-mallit, voisivat olla yksi keino edistää sekä tietomallipohjaista suunnittelua että projektiosapuolien välistä yhteistyötä. Rakennettavuuden arvioinnin järjestelmällisen toteuttamisen mahdollistamiseksi rakennusalan on kuitenkin ensin tunnistettava rakennettavuuden käsite ja ymmärrettävä sen merkitys rakennushankkeen tehokkaalle toteuttamiselle.

Lähdeluettelo

- [1] RYM Oy. Yritys ja tutkimusohjelmat. [Verkkosivu, viitattu 15.4.2013]. Saatavissa: <http://www.rym.fi/>
- [2] Mero, A. Rakennettavuus ja sen arviointi tietomallilla suunnittelun näkökulmasta. Diplomityö. Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennustekniikan laitos. Espoo. 2012. 96 s.
- [3] Griffith, A. & Sidwell, A. Development of constructability concepts, principles and practices. Engineering Construction and Architectural Management. Vol. 4, Issue 4, 1997. P. 295-310. [Verkkolehti, viitattu 14.8.2013]. ISSN: 1365-232X
- [4] Wong, F.W. & Lam, P. & Chan, E. & Wong, F.K. Factors Affecting Buildability of Building Designs. Canadian Journal of Civil Engineering. Vol. 33, Number 5, 2006. P. 795-806. [Verkkolehti, viitattu 14.8.2013]. DOI: 10.1139/L06-022.
- [5] Laakso, P. Metodiikka rakennettavuuden mittaamiseen ja kehittämiseen tietomallipohjaisessa työskentelyssä. Diplomityö. Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennustekniikan laitos. Espoo. 2012. 93 s.
- [6] Eskola, T. Arkkitehtuuri käsitteenä: arkkitehtonis-filosofinen tutkimus rakennuksesta modernissa. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Arkkitehtiosasto, 2005. 197s. Teknillisen korkeakoulun arkkitehtiosaston tutkimuksia, 23. ISBN: 951-22-7783-2
- [7] Ala-Fossi, I. Building Concepts. Bachelor's Thesis. Aalto University, Department of Architecture. Espoo. 2011. 21 p.
- [8] Chinowsky, P. The CADDIE Project: Applying Knowledge-Based Paradigms to Architectural Layout Generation. Stanford: Stanford University, Department of Civil Engineering, 1991. CIFE Technical Report, Number 54. [Saatavissa: <http://cife.stanford.edu/node/525>]
- [9] Fischer, M & Tatum, C. Characteristics of Design-Relevant Constructability Knowledge. Journal of Construction Engineering and Management. Vol. 123, Number 3, 1997. P. 253-260. [Verkkolehti, viitattu 26.8.2013]. ISSN: 0773-9364
- [10] Jarkas, M. Buildability Factors Influencing Concreting Labor Productivity. Journal of Construction Engineering and Management. Vol. 138, Number 1, 2012. P. 89-97. [Verkkolehti, viitattu 26.8.2013]. ISSN: 0733-9364
- [11] Tabesh, A & Staub-French, S. Modeling and Coordinating Building Systems in Three Dimensions: A Case Study. Canadian Journal of Civil Engineering. Vol. 33, Number 12, 2006. P. 1490-1504. [Verkkolehti, viitattu 26.8.2013]. DOI: 10.1139/L06-124.

- [12] Korman, T. & Fischer, M. & Tatum, C. Knowledge and Reasoning for MEP Coordination. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 129, Number 6, 2003. P. 627-634. [Verkkolehti, viitattu 26.8.2013]. ISSN: 0733-9364
- [13] Construction Industry Institute, Australia. *Constructability Manual*. Second Edition. Australia: University of South Australia and University of Technology Sydney, 1996. 111 p. ISBN: 1-879189-09-6
- [14] Building and Construction Authority. *Code of Practice on Buildability*. [Verkkodokumentti, viitattu 29.8.2013]. April 2011. Saatavissa: <http://www.bca.gov.sg/BuildableDesign/others/copbdapr2011.pdf>
- [15] Lam, P. & Wong, F.W & Chan A. & Shea W. & Lau, J. A Scheme Design Buildability Assessment Model for Building Projects. *Construction Innovation*. Vol. 12, Number 2, 2012. P. 216-238. [Verkkolehti, viitattu 29.8.2013]. DOI: 10.1108/14714171211215958
- [16] Azhar, S. & Khalfan, M. & Maqsood, T. Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*. Vol. 12, Issue 4. P. 15-28. [Verkkolehti, viitattu 6.9.2013]. ISSN: 18356354 18379133
- [17] McGeorge, D. & Zou, P. *Construction Management: New Direction*. 3rd Edition. Somerset, NJ, USA: Wiley, 2013. 264 p. ISBN: 978-0-470-67401-7
- [18] Eastman, C. & Teicholz, P & Sacks, R. & Liston, K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. Second Edition. USA: John Wiley & Sons, 2011. 648 p. ISBN: 978-0-470-54137-1
- [19] Raikaa, M. *Rakennustyömaan turvallisuussuunnittelun vaatimukset tietomallintamiseksi*. Diplomityö. Insinööritieteiden korkeakoulu, Rakennustekniikan laitos. Espoo. 2011. 80 s.
- [20] RT 10-11071. *Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 6. Laadunvarmistus*. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012. 15 s.
- [21] Tekla BIMsight. What is Tekla BIMsight? [Verkkosivu, viitattu 8.9.2013]. Saatavissa: <http://www.teklabimsight.com/getStarted.jsp>
- [22] CAD-Q. Solibri Model Checker – koulutusmateriaali. [Kurssimateriaali SMC-peruskurssilta 05/2013]
- [23] Autodesk. Autodesk Navisworks products. [Verkkosivu, viitattu 9.9.2013]. Saatavissa: <http://www.autodesk.com/products/autodesk-navisworks-family/features>
- [24] RT 10-11066. *Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 1. Yleinen osuus*. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012. 12 s.
- [25] RT 10-11068. *Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 3. Arkkitehtisuunnittelu*. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012. 17 s.

- [26] RT 10-11069. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, versio 1.0. Osa 4. Talotekninen suunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy. 2012. 30 s.

Liite 1: Tutkimukseen haastatellut henkilöt

- Antti Sahala, 21.6.2012 (Haastattelija: Matti Tauriainen)
- Jussi Ainamo, 2.7.2012 (Haastattelija: Matti Tauriainen)
- Heikki Lamminaho, 24.8.2012 (Haastattelija: Matti Tauriainen)
- Tero Järvinen, 27.8.2012 (Haastattelija: Matti Tauriainen)
- Jukka Tyni, 6.9.2012 (Haastattelija: Matti Tauriainen)
- Aki Davidsson, 22.5.2013
- Tarmo Peltonen, 28.5.2013
- Juha Posti, 3.6.2013
- Kari Ristolainen, 3.6.2013
- Tom Cederqvist, 10.6.2013
- Tommi Hokkanen, 11.6.2013
- Marjo Peltomäki, 26.6.2013
- Matias Hyvönen, 2.7.2013
- Petri Tyynelä, 3.7.2013
- Arttu Sipilä, 9.7.2013
- Sami Matoniemi, 5.8.2013
- Ari Virkki, 6.8.2013

Liite 2: Haastatteluissa esitetyt kysymykset

Talotekniikkasuunnittelijat:

1. Millainen koulutus ja työtausta sinulla on?
2. Mitä sinä ymmärrät käsitteellä rakennettavuus? Millaisilla ominaisuuksilla kuvailisit (hyvää tai huonoa) rakennettavuutta?
3. Miten rakennettavuus ilmenee sinun työssäsi? Mitä ovat taloteknisen rakennettavuuden peruspiirteet?
4. Millaisia haasteita rakennettavuuden osalta olet kohdannut työssäsi?
5. Miten koet, millainen merkitys rakennettavuudella on talotekniikan suunnittelussa?
6. Onko rakennettavuus järjestelmällisesti toteutettava piirre suunnittelutyössä, vai ennemminkin intuitiivisesti tai subjektiivisesti toteutettava?
7. Miten talotekniikkasuunnittelija toteuttaa rakennettavuutta työssään ja suunnitelmissaan?
8. Mitkä ovat mielestäsi talotekniikkasuunnittelijan tärkeimmät tehtävät rakennettavuuden edistämiseksi? Millaisia järjestelmiä ja suunnitteluratkaisuja tulee suosia?
9. Miten talotekniikkasuunnittelija voi arvioida suunnitelmien rakennettavuutta, millä työkaluilla ja välineillä?
10. Tapahtuuko arviointi itsenäisesti vai yhdessä suunnitteluryhmän ja/tai tilaajan ja/tai taloteknisen urakoitsijan kanssa, esimerkiksi suunnittelupalaverissa?
11. Mihin sinä käytät tietomallia työssäsi?
12. Miten tietomallinnuksen avulla voidaan edistää talotekniikan rakennettavuutta?
13. Miten tietomallin avulla voidaan arvioida ja tarkastella taloteknisten järjestelmien rakennettavuutta? (Miten suunnitelmien arviointi ja tarkastaminen suoritetaan? Mitä erityisesti tarkastetaan? Kuka sen tekee?)

Arkkitehdit:

1. Millainen koulutus- ja työtausta sinulla on?
2. Mitä tarkoitetaan käsitteellä rakennettavuus? Mitä rakennettavuus on arkkitehdin näkökulmasta? Millaisilla ominaisuuksilla kuvailisit (hyvää tai huonoa) rakennettavuutta?
3. Miten koet, millainen merkitys rakennettavuudella on arkkitehtisuunnittelussa?
4. Millaisia haasteita olet kohdannut työssäsi rakennettavuuden osalta arkkitehtisuunnittelun näkökulmasta?
5. Koetaanko rakennettavuus uhkaksi arkkitehtuurille? Mistä tämä voisi johtua?
6. Miten arkkitehti toteuttaa rakennettavuutta suunnitelmissaan?

7. Mitkä ovat mielestäsi arkkitehdin tärkeimmät tehtävät rakennettavuuden edistämiseksi? Millaisia suunnitteluratkaisuja tulee suosia?
8. Miten arkkitehti arvioi suunnittelun rakennettavuutta, millä työkaluilla ja välineillä?
9. Missä suunnitteluvaiheessa rakennettavuutta tulisi arvioida?
10. Minkä osapuolien kanssa arkkitehtisuunnitelmien rakennettavuutta tulisi arvioida mielestäsi? Onko näiden osapuolien yhteistyö tällä hetkellä riittävää? Olisiko yhteistyössä jotain parannettavaa?
11. Minkälaisia tietomalliohjelmia tai -sovelluksia teillä on käytössä?
12. Miten tietomallin avulla voidaan arvioida ja tarkastella arkkitehtisuunnitelmien rakennettavuutta?
13. Miten tietomallinnuksen avulla voidaan edistää rakennettavuutta arkkitehtisuunnittelussa?

Esimerkkikohde:

Arkkitehti

1. Millainen koulutus- ja työtausta sinulla on? Mikä on ollut sinun roolisi tässä hankkeessa?
2. Mitä tarkoitetaan käsitteellä rakennettavuus? Mitä rakennettavuus on arkkitehdin näkökulmasta?
3. Kerrotko hieman projektin suunnitteluprosessista? Mistä ajatus rakennuksen muodolle ja tilojen sijoittelulle lähti? Kuinka monta erilaista vaihtoehtoa hankkeesta oli projektin alkuvaiheessa? Minkälaisia reunaehdotuksia projektille asetettiin sen käynnistyessä?
4. Minkälaisia haasteita olette kohdanneet projektin aikana?
5. Miten rakennettavuutta on toteutettu mielestäsi tässä projektissa?
6. Miten rakennettavuutta on arvioitu rakennussuunnittelun osalta projektin aikana? Millaisia työkaluja ja välineitä teillä on ollut käytössä rakennettavuuden arviointiin?
7. Millainen merkitys tietomallinnuksella on ollut projektissa rakennussuunnittelun näkökulmasta?
8. Missä suunnitteluvaiheessa rakennettavuutta on arvioitu ja minkä osapuolien kanssa? Onko yhteistyö ollut eri osapuolien välillä riittävää?
9. Minkälaisia suunnittelupalavereita projektin osalta on pidetty? Ketkä osapuolet ovat olleet läsnä? Onko palavereissa hyödynnetty mallin katseluohjelmia tms.?
10. Minkälaisia työtehtäviä kuuluu projektin tämän hetkiseen vaiheeseen teidän osaltanne?
11. Mitkä ovat mielestäsi arkkitehdin tärkeimmät tehtävät rakennettavuuden edistämiseksi yleisesti ottaen?
12. Miten tietomallinnuksen avulla voidaan edistää rakennettavuutta rakennussuunnittelun osalta?

Rakennesuunnittelija

1. Millainen koulutus- ja työtausta sinulla on? Mikä on ollut sinun roolisi tässä hankkeessa?
2. Mitä tarkoitetaan käsitteellä rakennettavuus? Mitä rakennettavuus on rakennesuunnittelijan näkökulmasta?
3. Kerrotko hieman projektin suunnitteluprosessista? Kuinka monta runkovaihtoehtoa hankkeen alussa oli ja kuinka päädyttiin valittuun runkoratkaisuun? Minkälaisia reunaehdoja projektille asetettiin sen käynnistyessä?
4. Minkälaisia haasteita olette kohdanneet projektin aikana?
5. Miten rakennettavuutta on toteutettu mielestäsi tässä projektissa?
6. Miten rakennettavuutta on arvioitu rakennesuunnittelun osalta projektin aikana? Millaisia työkaluja ja välineitä teillä on ollut käytössä rakennettavuuden arviointiin?
7. Millainen merkitys tietomallinnuksella on ollut projektissa rakennesuunnittelun näkökulmasta?
8. Missä suunnitteluvaiheessa rakennettavuutta on arvioitu ja minkä osapuolien kanssa? Onko yhteistyö ollut eri osapuolien välillä riittävää?
9. Minkälaisia suunnittelupalavereja projektin osalta on pidetty? Ketkä osapuolet ovat olleet läsnä? Onko palavereissa hyödynnetty mallin katseluohjelmia tms.?
10. Minkälaisia työtehtäviä kuuluu projektin tämän hetkiseen vaiheeseen teidän osaltanne?
11. Mitkä ovat rakennesuunnittelijan tärkeimmät tehtävät rakennettavuuden edistämiseksi yleisesti ottaen?
12. Miten tietomallinnuksen avulla voidaan edistää rakennettavuutta rakennesuunnittelun osalta?

Työmaan BIM-tuki

1. Millainen koulutus- ja työtausta sinulla on? Mikä on ollut sinun roolisi tässä hankkeessa?
2. Mitä tarkoitetaan käsitteellä rakennettavuus? Mitä rakennettavuus on sinun mielestäsi? Miten kuvailisit (hyvää tai huonoa) rakennettavuutta?
3. Kerrotko hieman projektin etenemisestä? Milloin hanke aloitettiin teidän osaltanne? Millaisella urakkamuodolla hanketta lähdettiin toteuttamaan ja miten tähän valintaan päädyttiin? Millä tavalla olette vaikuttaneet projektin kulkuun hankkeen eri vaiheissa?
4. Minkälaisia haasteita olette kohdanneet projektin aikana?
5. Miten rakennettavuutta on toteutettu mielestäsi tässä projektissa?
6. Miten rakennettavuutta on arvioitu rakennuttajan/rakentajan osalta projektin aikana? Millaisia työkaluja ja välineitä teillä on ollut käytössä rakennettavuuden arviointiin? Onko arviointi tapahtunut yhden henkilön toimesta vai onko arviointia toteutettu ryhmässä?

7. Millainen merkitys tietomallinnuksella on ollut projektissa urakoitsijan näkökulmasta?
8. Missä rakennushankkeen eri vaiheissa rakennettavuutta on arvioitu ja minkä osapuolien kanssa? Onko yhteistyö ollut eri osapuolien välillä riittävää?
9. Miten rakennuttaja/rakentaja on osallistunut pidettyihin suunnittelupalavereihin? Mikä on ollut rakennuttajan/rakentajan rooli suunnittelupalavereissa? Onko palavereissa hyödynnetty mallinkatseluohjelmia tms.?
10. Minkälaisia työtehtäviä kuuluu projektin tämän hetkiseen vaiheeseen teidän osaltanne?
11. Mitkä ovat mielestäsi rakennuttajan/rakentajan tärkeimmät tehtävät rakennettavuuden edistämiseksi yleisesti ottaen?
12. Miten tietomallinnusta tulisi hyödyntää yleisesti rakennettavuuden edistämiseksi?
13. Miten rakennettavuutta tulisi arvioida mielestäsi tulevaisuudessa? Pitäisikö nykyisiä ohjelmistoja kehittää vielä ja miten?

Sähkösuunnittelija

1. Millainen koulutus- ja työtausta sinulla on? Mikä on ollut sinun roolisi tässä hankkeessa?
2. Mitä tarkoitetaan käsitteellä rakennettavuus? Mitä rakennettavuus on sähkösuunnittelijan näkökulmasta?
3. Kerrotko hieman projektin suunnitteluprosessista? Minkälaisia reunaehtoja projektille asetettiin sen käynnistyessä? Minkälaisia ratkaisuvaihtoehtoja projektin aikana on ollut? Miten valittuihin ratkaisuihin päädyttiin?
4. Minkälaisia haasteita olette kohdanneet projektin aikana?
5. Miten rakennettavuutta on toteutettu mielestäsi tässä projektissa?
6. Miten rakennettavuutta on arvioitu sähkösuunnittelun osalta projektin aikana? Millaisia työkaluja ja välineitä teillä on ollut käytössä rakennettavuuden arviointiin?
7. Millainen merkitys tietomallinnuksella on ollut projektissa sähkösuunnittelun näkökulmasta?
8. Missä suunnitteluvaiheessa rakennettavuutta on arvioitu ja minkä osapuolien kanssa? Onko yhteistyö ollut eri osapuolien välillä riittävää?
9. Minkälaisia suunnittelupalavereja projektin osalta on pidetty? Ketkä osapuolet ovat olleet läsnä? Onko palavereissa hyödynnetty mallinkatseluohjelmia tms.?
10. Minkälaisia työtehtäviä kuuluu projektin tämän hetkiseen vaiheeseen teidän osaltanne?
11. Mitkä ovat sähkösuunnittelijan tärkeimmät tehtävät rakennettavuuden edistämiseksi yleisesti ottaen?
12. Miten tietomallinnuksen avulla voidaan edistää rakennettavuutta sähkösuunnittelun osalta?

Pohjarakennussuunnittelija

1. Millainen koulutus- ja työtausta sinulla on? Mikä on ollut sinun roolisi tässä hankkeessa?
2. Mitä tarkoitetaan käsitteellä rakennettavuus? Mitä rakennettavuus on pohjarakennussuunnittelijan näkökulmasta?
3. Kerrotko hieman projektin suunnitteluprosessista? Minkälaisia reunaehtoja projektille asetettiin sen käynnistyessä? Minkälaisia ratkaisuvaihtoehtoja projektin aikana on ollut? Miten valittuihin ratkaisuihin päädyttiin?
4. Minkälaisia haasteita olette kohdanneet projektin aikana?
5. Miten rakennettavuutta on toteutettu mielestäsi tässä projektissa?
6. Miten rakennettavuutta on arvioitu pohjarakennussuunnittelun osalta projektin aikana? Millaisia työkaluja ja välineitä teillä on ollut käytössä rakennettavuuden arviointiin?
7. Onko hankkeessa hyödynnetty tietomallinnusta pohjarakennussuunnittelun apuna? Onko/olisiko tietomallista ollut apua suunnitteluprosessin aikana? Millä tavalla?
8. Missä suunnitteluvaiheessa rakennettavuutta on arvioitu ja minkä osapuolien kanssa? Onko yhteistyö ollut eri osapuolien välillä riittävää?
9. Minkälaisia suunnittelupalavereja projektin osalta on pidetty? Ketkä osapuolet ovat olleet läsnä? Onko palavereissa hyödynnetty mallinkatseluohjelmia tms.?
10. Minkälaisia työtehtäviä kuuluu projektin tämän hetkiseen vaiheeseen teidän osaltanne?
11. Mitkä ovat pohjarakennussuunnittelijan tärkeimmät tehtävät rakennettavuuden edistämiseksi yleisesti ottaen?
12. Miten tietomallinnuksen avulla voidaan edistää rakennettavuutta pohjarakennussuunnittelun osalta? Miten yleistä geotekniikan mallintaminen on tällä hetkellä yleisesti ottaen?
13. Millaisena näet pohjarakennussuunnittelun tulevaisuuden? Minkälaisia suunnittelumenetelmiä tullaan käyttämään ja mikä on tietomallinnuksen rooli tulevaisuudessa?

LVI-asiantuntija

1. Millainen koulutus- ja työtausta sinulla on? Mikä on ollut sinun roolisi tässä hankkeessa?
2. Mitä tarkoitetaan käsitteellä rakennettavuus? Mitä rakennettavuus on sinun mielestäsi? Miten kuvailisit (hyvää tai huonoa) rakennettavuutta?
3. Kerrotko hieman projektin etenemisestä? Milloin hanke aloitettiin teidän osaltanne? Kuinka kauan olet ollut mukana projektissa?
4. Minkälaisia haasteita olette kohdanneet projektin aikana?
5. Miten rakennettavuutta on toteutettu mielestäsi tässä projektissa?

6. Millainen merkitys työturvallisuudella on ollut? Huomioidaanko talotekniikan työturvallisuutta riittävästi suunnittelijoiden keskuudessa?
7. Miten rakennettavuutta on arvioitu rakennuttajan/rakentajan osalta projektin aikana? Millaisia työkaluja ja välineitä teillä on ollut käytössä rakennettavuuden arviointiin? Minkälaisia asioita suunnitelmista tarkastellaan talotekniikan osalta?
8. Millainen merkitys tietomallinnuksella on ollut projektissa urakoitsijan näkökulmasta?
9. Missä rakennushankkeen eri vaiheissa talotekniikan rakennettavuutta on arvioitu ja minkä osapuolien kanssa? Onko yhteistyö ollut eri osapuolien välillä riittävää?
10. Minkälaisia työtehtäviä kuuluu projektin tämän hetkiseen vaiheeseen teidän osaltanne?
11. Mitkä ovat mielestäsi rakennuttajan/rakentajan tärkeimmät tehtävät rakennettavuuden edistämiseksi yleisesti ottaen?
12. Miten tietomallinnusta tulisi hyödyntää rakennettavuuden edistämiseksi?
13. Miten rakennettavuutta tulisi arvioida mielestäsi tulevaisuudessa? Pitäisikö nykyisiä ohjelmistoja kehittää vielä ja miten?

LVI-suunnittelija

1. Millainen koulutus- ja työtausta sinulla on? Mikä on ollut sinun roolisi tässä hankkeessa?
2. Mitä tarkoitetaan käsitteellä rakennettavuus? Mitä rakennettavuus on talotekniikkasuunnittelijan näkökulmasta?
3. Kerrotko hieman projektin suunnitteluprosessista? Miten monta erilaista taloteknistä järjestelmää projektin alussa oli ja kuinka päädyttiin valittuun järjestelmään? Minkälaisia reunaehtoja projektille asetettiin sen käynnistyessä?
4. Minkälaisia haasteita olette kohdanneet projektin aikana?
5. Miten rakennettavuutta on toteutettu mielestäsi tässä projektissa?
6. Miten rakennettavuutta on arvioitu taloteknisensuunnittelun osalta projektin aikana? Minkälaisia asioita LVI-suunnitelmista on tarkasteltu rakennettavuuden huomioimiseksi?
7. Millaisia työkaluja ja välineitä teillä on ollut käytössä rakennettavuuden arviointiin? Onko Solibria käytetty suunnitelmien tarkastuksessa? Miten sitä on hyödynnetty?
8. Millainen merkitys tietomallinnuksella on ollut projektissa talotekniikkasuunnittelun näkökulmasta?
9. Missä suunnitteluvaiheessa rakennettavuutta on arvioitu ja minkä osapuolien kanssa? Onko yhteistyö ollut eri osapuolien välillä riittävää?
10. Minkälaisia työtehtäviä kuuluu projektin tämän hetkiseen vaiheeseen teidän osaltanne?
11. Mitkä ovat talotekniikkasuunnittelijan tärkeimmät tehtävät rakennettavuuden edistämiseksi yleisesti ottaen?

12. Miten tietomallinnuksen avulla voidaan edistää rakennettavuutta taloteknisen suunnittelun osalta?
13. Miten talotekniikan rakennettavuutta tulisi arvioida mielestäsi tulevaisuudessa? Pitäisikö nykyisiä ohjelmistoja kehittää vielä ja miten?

Vastaava työnjohtaja

1. Millainen koulutus- ja työtausta sinulla on? Mikä on ollut sinun roolisi tässä hankkeessa?
2. Mitä tarkoitetaan käsitteellä rakennettavuus? Mitä rakennettavuus on sinun mielestäsi?
3. Kerrotko hieman projektin etenemisestä? Milloin hanke aloitettiin (teidän osaltanne) ja millaisella aikataululla projektia viedään läpi?
4. Minkälaisia haasteita olette kohdanneet projektin aikana?
5. Miten rakennettavuutta on toteutettu mielestäsi tässä projektissa?
6. Miten kohteen rakennettavuutta on arvioitu rakentajan osalta projektin aikana? Millaisia työkaluja ja välineitä teillä on ollut käytössä rakennettavuuden arviointiin?
7. Missä rakennushankkeen eri vaiheissa rakennettavuutta on arvioitu ja minkä osapuolien kanssa? Onko rakennettavuuden arviointi tapahtunut oikea-aikaisesti?
8. Jos rakennettavuudelle voitaisiin antaa arvosana asteikolla 0-100, minkä arvostaman antaisit tämän kohteen rakennettavuudelle? Perustelko hieman?
9. Millainen merkitys tietomallinnuksella on ollut projektissa rakennusurakoitsijan näkökulmasta?
10. Mitkä ovat mielestäsi rakentajan tärkeimmät tehtävät rakennettavuuden edistämiseksi yleisesti ottaen?
11. Miten rakennettavuutta tulisi arvioida mielestäsi tulevaisuudessa? Kenen toimesta arviointi tulisi tehdä ja missä hankevaiheessa?
12. Miten tietomallinnusohjelmistoja tulisi kehittää jatkossa? Minkälaisia asioita ohjelmissa pitäisi muuttaa tai tuoda lisää työmaan näkökulmasta?

Liite 3: Rakennettavuuden arvosanan laskentataulukot

Rakennemalli

Perustukset

	Nauha-antura	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Tilavuus-% kaikista anturoista
Kriteeri	570,37 m			
Profiileja	21 kpl	0,5000	0,3333	28,44
Haitallisia korkeusasemia	6 kpl	0,5000	0,3333	
Perustusmenetelmiä	1 kpl	0,0000	0,3333	C= 0,67

	Pilariantura	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Tilavuus-% kaikista anturoista
Kriteeri	60 kpl			
Profiileja	11 kpl	1,0000	0,333333	40,67
Haitallisia korkeusasemia	0 kpl	0,0000	0,333333	
Perustusmenetelmiä	1 kpl	0,0000	0,333333	C= 0,67

	Paaluanturat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Tilavuus-% kaikista anturoista
Kriteeri	33 kpl			
Profiileja	7 kpl	1,0000	0,333333	7,50
Haitallisia korkeusasemia	0 kpl	0,0000	0,333333	
Perustusmenetelmiä	1 kpl	0,0000	0,333333	C= 0,67

	Jatkuvat paaluantu- rat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Tilavuus-% kaikista anturoista
Kriteeri	373,11 m			
Profiileja	10 kpl	0,5000	0,333333	23,39
Haitallisia korkeusasemia	0 kpl	0,0000	0,333333	
Perustusmenetelmiä	1 kpl	0,0000	0,333333	C= 0,83

Perustuksien tunnusluku: C= 0,71

Pilarit

Betonielementit	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,3333	95,70
Pituudet	0,7500	0,3333	
Painot	0,0000	0,3333	C= 0,42

Paikallavaluosat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,3333	4,30
Pituudet	0,0000	0,3333	
Painot	0,0000	0,3333	C= 0,67

Pilarien tunnusluku: C= 0,43

Palkit

Betonielementit	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,3333	36,84
Pituudet	0,7500	0,3333	C= 0,42
Painot	0,0000	0,3333	

Paikallavaluosat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,3333	61,40
Pituudet	0,7500	0,3333	C= 0,42
Painot	0,0000	0,3333	

Teräsosat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	0,0000	0,3333	1,75
Pituudet	0,0000	0,3333	C= 1,00
Painot	0,0000	0,3333	

Palkkien tunnusluku:	C= 0,43
----------------------	---------

Laatat

Välipohja- ja kattolaatat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (pinta-ala-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,1667	56,83
Painot	0,0000	0,1667	C= 0,58
Pituudet	0,5000	0,1667	
Paikallavaluosuudet	0,0000	0,1667	
Reiät	1,0000	0,1667	
Korkeusasemat	0,0000	0,1667	

Parvekelaatat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (pinta-ala-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,1667	5,96
Painot	0,0000	0,1667	C= 0,81
Pituudet	0,1250	0,1667	
Paikallavaluosuudet	0,0000	0,1667	
Reiät	0,0000	0,1667	
Korkeusasemat	0,0000	0,1667	

Pihakansilaatat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (pinta-ala-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,1667	18,57

Painot	0,0000	0,1667	C= 0,58
Pituudet	0,5000	0,1667	
Paikallavaluosuudet	0,0000	0,1667	
Reiät	1,0000	0,1667	
Korkeusasemat	0,0000	0,1667	

Porrastasolaatat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (pinta-ala-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,1667	3,30
Painot	0,0000	0,1667	C= 0,62
Pituudet	0,2500	0,1667	
Paikallavaluosuudet	0,0000	0,1667	
Reiät	1,0000	0,1667	
Korkeusasemat	0,0000	0,1667	

Alapohjalaatat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (pinta-ala-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,1667	15,29
Painot	0,0000	0,1667	C= 0,79
Pituudet	0,2500	0,1667	
Paikallavaluosuudet	0,0000	0,1667	
Reiät	0,0000	0,1667	
Korkeusasemat	0,0000	0,1667	

Kuorilaatat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (pinta-ala-%)
Kriteeri			
Profiilit	0,0000	0,1667	0,06
Painot	0,0000	0,1667	C= 0,94
Pituudet	0,1250	0,1667	
Paikallavaluosuudet	0,0000	0,1667	
Reiät	0,2500	0,1667	
Korkeusasemat	0,0000	0,1667	

Laattojen tunnusluku:	C= 0,63
-----------------------	---------

Seinät

Kuorielementit	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	0,7500	0,3333	30,07
Pituudet	0,7500	0,3333	C= 0,50
Painot	0,0000	0,3333	

Väliseinät	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			

Profiilit	0,7500	0,3333	37,46
Pituudet	0,6250	0,3333	C= 0,54
Painot	0,0000	0,3333	

Maanpaineseinät	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	0,7500	0,3333	11,54
Pituudet	0,6250	0,3333	C= 0,21
Painot	1,0000	0,3333	

Parvekepielet	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	0,7500	0,3333	13,21
Pituudet	0,5000	0,3333	C= 0,58
Painot	0,0000	0,3333	

Nauhaelementit	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	0,5000	0,3333	7,72
Pituudet	0,6250	0,3333	C= 0,63
Painot	0,0000	0,3333	

VSS	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	0,7500	0,3333	0,00
Pituudet	0,3750	0,3333	C= 0,63
Painot	0,0000	0,3333	

Seinien tunnusluku:	C= 0,50
---------------------	---------

Arvosana

	Tunnusluku C_i	Painokerroin W_i	Arvosana
Perustukset	0,71	0,2	
Pilarit	0,43	0,2	54,00
Palkit	0,43	0,2	
Laatat	0,63	0,2	
Seinät	0,50	0,2	

Arkkitehtimalli*Pilarit*

Betonipilarit	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,3333	100,00
Pituudet	0,3750	0,3333	
Painot	0,0000	0,3333	C= 0,54

Pilarien tunnusluku:	C= 0,54
----------------------	---------

Palkit

Betonipalkit	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,5000	100,00
Pituudet	0,2500	0,5000	

C= 0,38

Palkkien tunnusluku:	C= 0,38
----------------------	---------

Laatat

Välipohja- ja kattolaatat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (pinta-ala-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,5000	62,87
Pituudet	0,3750	0,5000	

C= 0,31

Parvekelaatat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (pinta-ala-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,5000	17,96
Pituudet	0,1250	0,5000	

C= 0,44

Porrastasolaatat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (pinta-ala-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,5000	8,38
Pituudet	0,7500	0,5000	

C= 0,13

Alapohjalaatat	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (pinta-ala-%)
Kriteeri			
Profiilit	1,0000	0,5000	10,78
Pituudet	0,5000	0,5000	

C= 0,25

Laattojen tunnusluku:	C= 0,31
-----------------------	---------

Seinät

Kantavat ulkoseinät	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (pinta-ala-%)
Kriteeri			
Profiilit	0,7500	0,5000	44,29
Pituudet	0,8750	0,5000	

C= 0,19

Kantavat väliseinät	Suhde- luvut	Paino- kertoimet	Osuus (kpl-%)
Kriteeri			
Profiilit	0,7500	0,5000	55,71
Pituudet	0,3750	0,5000	

C= 0,44

Seinien tunnusluku: C= 0,33

Arvosana

	Tunnusluku C_i	Painokerroin W_i	
Pilarit	0,54	0,25	
Palkit	0,38	0,25	
Laatat	0,31	0,25	
Seinät	0,33	0,25	Arvosana
			39,00

Liite 4: Esimerkkikohteen rakennusosataulukot

Perustukset

				Profiileja
Nauha-anturat	126 kpl	28,44 %		21 kpl
Pilarianturat	60 kpl	40,67 %		11 kpl
Paaluanturat	33 kpl	7,5 %		7 kpl
Jatkuvat paaluanturat	76 kpl	23,39 %		10 kpl
Yht.	295 kpl	100 %		49 kpl

Pilarit

				Paino	Pituus
			Profiileja	ka	max
Paikallavaluosat	4 kpl	4,3 %	3 kpl	504	539 kg
Betonielementit	89 kpl	95,7 %	19 kpl	1552	8083 kg
Yht.	93 kpl	100 %	22 kpl		

Palkit

				Paino	Pituus
			Profiileja	ka	max
Paikallavaluosat	70 kpl	61,404 %	13 kpl	12020,9	30497 kg
Teräsosat	2 kpl	1,7544 %	1 kpl	1	1 kg
Betonielementit	37 kpl	36,842 %	19 kpl	1051,06	3128 kg
Yht.	109 kpl	100 %	33 kpl		

Laatat

				Paino	Pituus
			Profiileja	ka	max
Välipohja- &kattolaatat	130 kpl	33,079 %	94 kpl	38049	149948 kg
Parvekelaatat	82 kpl	20,865 %	32 kpl	7028	10411 kg
Pihakansilaatat	22 kpl	5,598 %	20 kpl	91232	333034 kg
Porrastasolaatat	54 kpl	13,74 %	22 kpl	5910	9907 kg
Alapohjalaatat	81 kpl	20,611 %	69 kpl	9451	186281 kg
Kuorilaatat	24 kpl	6,1069 %	1 kpl	997	1341 kg
Yht.	393 kpl	100 %	238 kpl		

Seinät

				Paino	Pituus
			Profiileja	ka	max
Kuorielementit	362 kpl	30,07 %	105 kpl	1381	8037 kg
Väliseinät	451 kpl	37,46 %	102 kpl	2813	9760 kg
Maanpaineseinät	139 kpl	11,54 %	48 kpl	5421	12090 kg
Parvekepielet	159 kpl	13,21 %	41 kpl	3507	8987 kg
Nauhaelementit	93 kpl	7,72 %	8 kpl	2425	6799 kg
Yht.	1204 kpl	100 %	304 kpl		

Kaikki rakennusosat

Osia yhteensä	2094 kpl
Erilaisia profiileja	646 kpl